



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica
Superior de Jaén

Plataformas Inteligentes de Salud: Monitorización de Pacientes con Diabetes Tipo 2 y Sostenibilidad

Autor: D. David Díaz Jiménez

Directores de la tesis: Dra. D^a. Macarena Espinilla Estévez / Dr. D. José Luis López Ruiz
Departamento: Informática

Fecha: 03/10/2024

ISBN:
Licencia CC

RUJA

La memoria titulada **Plataformas Inteligentes de Salud: Monitorización de Pacientes con Diabetes Tipo 2 y Sostenibilidad**, que presenta D. David Díaz Jiménez para optar al grado de doctor, ha sido realizada dentro del Programa de Doctorado en Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad de Jaén bajo la dirección de la Dra. D^a. Macarena Espinilla Estévez y el Dr. D. José Luis López Ruiz. Para su evaluación, esta memoria de tesis se presenta como un conjunto de trabajos publicados y protegidos en razón a lo establecido en el punto 2 del artículo 25 del Reglamento de los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, aprobado el 6 de febrero de 2012 y modificado el 18 de febrero de 2019 por el Consejo de Gobierno.

D. David Díaz Jiménez
Doctorando

Dra. D^a. Macarena Espinilla
Estévez
Directora

Dr. D. José Luis López Ruiz
Director

Agradecimientos

En primer lugar, quería darle las gracias a toda mi familia, en especial a mis padres, por haberme apoyado en mis decisiones y haberme guiado con sus consejos. Los cuales lo han dado todo para que yo esté aquí.

De igual manera, quiero dar las gracias a mis directores de tesis, Dra. D^a. Macarena Espinilla y Dr. D. José Luis López, por su excelente labor como directores, y por todo el soporte que me han dado durante este tiempo.

Querría dar las gracias también a mis mejores amigos, Pedro, Manu, Ceci, Alberto, Andrés y Aida, y a aquellos con los que he vuelto a conectar después de tantos años, por estar siempre cuando los necesito y por todos los momentos buenos que hemos pasado juntos. También querría dar las gracias a todas las compañeras y compañeros del grupo de investigación ASIA y a todos los compañeros y compañeras del departamento por todos los buenos momentos que hemos ido viviendo entre los ratos libres que hemos ido sacando.

Finalmente esta tesis ha sido apoyada a través del Gobierno Español por el proyecto PID2021-127275OB-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por "FEDER Una manera de hacer Europa".

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación y contexto: transformación digital en la salud doméstica	1
1.2. Justificación de la tesis doctoral	9
1.3. Propuesta general	11
1.4. Objetivos específicos	12
1.5. Estructura de la tesis doctoral	13
2. Revisión de trabajos relacionados	17
2.1. Introducción	17
2.2. Monitorización de actividades humanas	18
2.3. Tecnologías de localización en contextos multiocupación en interiores	22
2.4. Evaluación de sostenibilidad	29
3. Metodología integral para la monitorización de la adherencia a tratamientos en el hogar: Desarrollo de la plataforma AI2EPD	33
3.1. Introducción	33
3.2. Índices de calidad	34

3.3. Resumen y discusión	36
3.3.1. Metodología propuesta	37
3.3.2. Plataforma AI2EPD	40
3.3.3. Comparación de la plataforma AI2EPD	47
3.3.4. Tendencias futuras	48
4. Metodología de monitorización de hábitos saludables en Diabetes Tipo 2 con tecnologías UWB en multiocupación	50
4.1. Introducción	50
4.2. Índices de calidad	51
4.3. Resumen y discusión	52
4.3.1. Marco de trabajo	53
4.3.2. El rol de la capa niebla	56
4.3.3. Personalización en contexto de multiocupación	57
5. Análisis de la sostenibilidad de la plataforma de adherencia: evaluación, impacto y estrategias de mejora	65
5.1. Introducción	65
5.2. Índices de calidad	66
5.3. Resumen y discusión	67
5.3.1. Modelo de evaluación de ODS	68
5.3.2. Alineamiento de los ODS con la plataforma de adherencia	69
ODS 1: Fin de la pobreza	70
ODS 2: Hambre cero	71
ODS 3: Salud y bienestar	71
ODS 4: Educación de calidad	72

ODS 5: Igualdad de género	73
ODS 6: Agua limpia y saneamiento	74
ODS 7: Energía asequible y no contaminante . .	74
ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico	75
ODS 9: Industria, innovación e infraestructura .	76
ODS 10: Reducción de las desigualdades	77
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles .	78
ODS 12: Producción y consumo responsables . .	78
ODS 13: Acción por el clima	79
ODS 14: Vida submarina	80
ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres	80
ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas . . .	81
ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos . . .	81
5.3.3. Análisis global y retos futuros	82
6. Conclusiones, resultados y perspectivas futuras	84
6.1. Introducción	84
6.2. Investigación realizada	84
6.3. Direcciones futuras de la investigación	88
6.4. Resultados científicos obtenidos durante el doctorado .	91
6.4.1. Publicaciones científicas relacionadas con el núcleo de la investigación	91
6.4.2. Publicaciones Científicas Estrechamente Relacionadas	94

Índice de figuras

- 1.1. Múltiples dispositivos conectados. Fuente: (Alliou,2023). 2
- 1.2. Prevalencia global de la diabetes. Fuente: elaboración propia. 6
- 1.3. Representación de diferentes dispositivos utilizados para el control de la diabetes. Fuente: (Garland, 2024). . 8
- 1.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/> 9
- 3.1. Metodología propuesta. Fuente: elaboración propia. . . 38
- 4.1. Los dispositivos empleados de izquierda a derecha son sensor de movimiento, sensor de apertura y cierre, sensor ambiental y ancla UWB. Fuente: Elaboración propia. 56
- 5.1. Esquema del modelo de evaluación para el alineamiento de los ODS. Fuente: elaboración propia. . 69
- 5.2. Porcentaje de alineación de la plataforma propuesta a cada ODS. Fuente: Elaboración propia. 83

Capítulo 1

Introducción

El presente capítulo de esta tesis doctoral establece el marco conceptual de la investigación, abordando la motivación y contexto detrás de su desarrollo junto con su justificación. A continuación, se exponen la propuesta general y los objetivos que se pretenden alcanzar con la investigación. Finalmente, se proporciona una descripción detallada de la estructura que organiza el contenido de la presente tesis doctoral.

1.1. Motivación y contexto: transformación digital en la salud doméstica

El desarrollo tecnológico experimentado en los últimos 20 años ha fomentado la aparición de dispositivos con mayores capacidades en formatos cada vez más reducidos. Este avance ha sido muy significativo en campos como el Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) (Kopetz y Steiner, 2022; Mouha et al., 2021), donde un conjunto de dispositivos con sensores se conectan a una red para

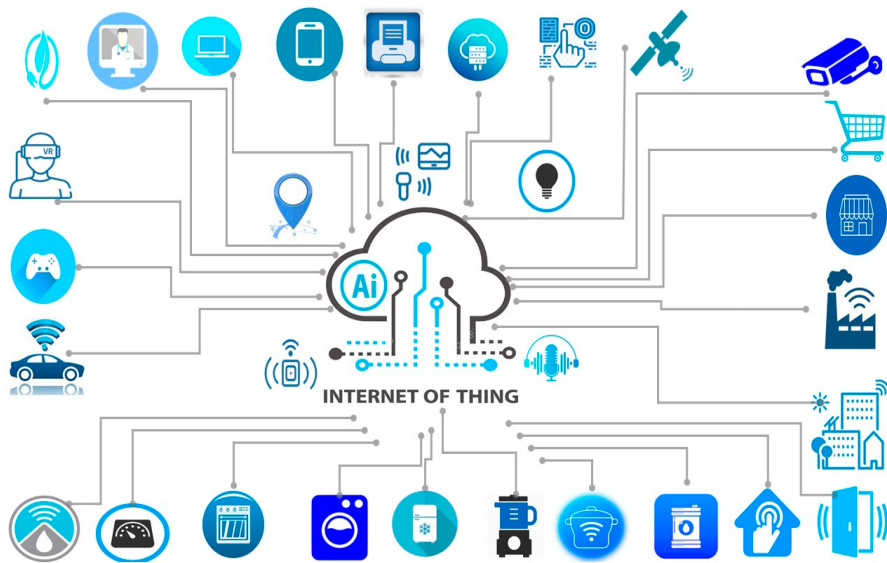


FIGURA 1.1: Múltiples dispositivos conectados.

Fuente: (Allioui,2023)

intercambiar y compartir datos, ya sea de manera local o a través de Internet, Figura 1.1. Este tipo de dispositivos ha experimentando una mayor presencia en nuestros hogares conforme el paso del tiempo, y en la actualidad es muy frecuente encontrarlos como sistemas de seguridad (Desnanjaya y Arsana, 2021) o sistemas de climatización e iluminación (Khoa et al., 2020).

En estos años, los denominados dispositivos vestibles (John et al., 2020) han conquistado nuestras muñecas. Estos dispositivos son empleados para realizar el seguimiento de diferentes biomarcadores (Strimbu y Tavel, 2010), como pueden ser el ritmo cardíaco, la actividad física o el nivel de oxígeno en sangre, entre otros. Para ello, se aplican técnicas de Inteligencia Artificial, que permiten analizar los datos de estos biomarcadores para determinar, por ejemplo, el tipo de ejercicio que está realizando la persona que lleva el

dispositivo, la calidad de la ejecución del ejercicio o las anomalías que se producen durante el mismo. El conocimiento obtenido puede ser utilizado, por ejemplo, para el descubrimiento de patologías (Huang et al., 2022; Medina Quero et al., 2017; Peláez-Aguilera et al., 2019).

La comercialización e implantación de dispositivos con sensores ha originado el acceso a un mayor número de datos, permitiendo un sinfín de nuevas oportunidades para la obtención de conocimiento mediante la aplicación de técnicas como la Inteligencia Artificial (IA).

La Fundación del Español Urgente (FundéuRAE), promovida por la Agencia EFE y la Real Academia Española, otorgó el título de palabra del año a la expresión compleja inteligencia artificial. La IA se refiere a la capacidad de las máquinas y sistemas informáticos para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana (Winston, 1984), como el procesamiento de información (Rahmani et al., 2021), el reconocimiento de patrones (Nunes Rodrigues et al., 2020) o la toma de decisiones (Aikemu et al., 2021).

Definiciones más actuales de la IA se refieren a ella como la tecnología que permite a ordenadores y máquinas simular el aprendizaje, la comprensión, la resolución de problemas, la toma de decisiones, la creatividad y la autonomía humanas («What is artificial intelligence (AI)?», 2024). Dentro de la inteligencia artificial, se pueden destacar campos como el aprendizaje automático (machine learning) (Janiesch et al., 2021) o el aprendizaje profundo (deep learning) (LeCun et al., 2015), mediante los cuales se pueden analizar grandes volúmenes de datos para construir modelos predictivos o descriptivos, capaces de

identificar patrones y hacer inferencias a partir de los datos.

Uno de los campos más relevantes de aplicación de la IA con dispositivos con sensores es el reconocimiento de actividades (Human Activity Recognition, HAR) (Kim et al., 2009). El HAR ofrece sistemas y metodologías capaces de identificar y clasificar las actividades realizadas por una o varias personas a partir de los datos recopilados por distintas fuentes como dispositivos con sensores ambientales (Gómez-Ramos et al., 2023), de visión (Beddiar et al., 2020) o vestibles (Poongodi et al., 2020).

El reconocimiento de actividades se puede realizar dentro de tres paradigmas de computación (De Donno et al., 2019; Escamilla-Ambrosio et al., 2018), cada uno con una serie de limitaciones y ventajas. El primero es la computación cloud donde los recursos son abundantes y escalables, lo que permite el uso de modelos complejos, aunque puede haber problemas de latencia y preocupaciones sobre la privacidad de los datos. El segundo es la computación fog donde se dispone de recursos más limitados que en la nube, pero se logra reducir la latencia y optimizar el uso del ancho de banda. Finalmente, se encuentra la computación edge donde el procesamiento se realiza en dispositivos locales, lo que permite respuestas instantáneas y mejora la privacidad, aunque las capacidades de procesamiento y almacenamiento son mucho más limitadas, restringiendo la complejidad de los modelos aplicables.

Dentro del reconocimiento de actividades existen diversos enfoques para el tratamiento de datos con técnicas IA. Estos enfoques, por

un lado, incluyen métodos basados en datos, que emplean técnicas como el aprendizaje automático, mediante redes bayesianas, modelos ocultos de Markov o árboles de decisión entre otros, para reconocer las actividades a partir de grandes conjuntos de datos provenientes de sensores (Chen y Nugent, 2019; Qin et al., 2020). Por otro lado, los enfoques basados en conocimiento utilizan técnicas como sistemas de reglas, ontologías y razonamiento lógico para interpretar las actividades de acuerdo con marcos predefinidos de conocimiento experto (Bettini, Civitarese y Presotto, 2020; Chen y Nugent, 2019; Rawashdeh et al., 2020). Finalmente, los enfoques híbridos combinan ambos tipos de enfoques para lograr una identificación más precisa y adaptable de las actividades (Bettini, Civitarese, Giancane y Presotto, 2020; Civitarese et al., 2019; Montoro Lendínez et al., 2023).

En la actualidad, el desarrollo de sistemas de HAR está propiciando la transformación digital en la salud doméstica mediante la aparición de nuevas aplicaciones enfocadas en la monitorización de la salud (Kraus et al., 2021). Entre los ejemplos notables de aplicaciones encontramos sistemas para controlar la salud cardiovascular (Bharti et al., 2021), la enfermedad de Parkinson (Giannakopoulou et al., 2022) o la rehabilitación física de las personas (Postolache et al., 2020). Dichos sistemas son solo algunos de los ejemplos que se pueden encontrar en la literatura, extendiéndose en múltiples dominios debido a su versatilidad e impacto (Kashani et al., 2021; C. Li et al., 2024; Singh et al., 2023).

En el ámbito de la salud, podemos destacar la diabetes como una enfermedad cuya prevalencia aumenta de manera alarmante con el

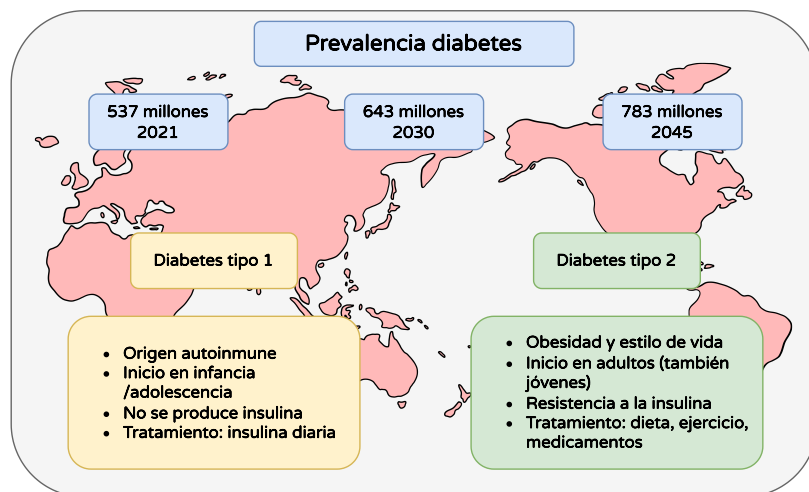


FIGURA 1.2: Prevalencia global de la diabetes. Fuente: elaboración propia.

paso de los años (Atlas, 2014; H. Sun et al., 2022), representando un problema de salud cada vez mayor. En este sentido, se estima que en la actualidad más de 540 millones de personas viven con diabetes, con una proyección de unos 783 millones para el año 2045, Figura 1.2.

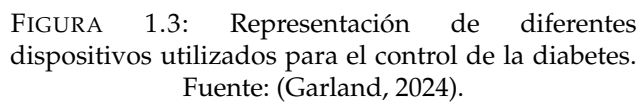
La diabetes mellitus considera dos tipos principales, la diabetes mellitus de tipo 1 y la diabetes mellitus de tipo 2 (WHO, 2023). Por un lado, la diabetes mellitus de tipo 1 es una enfermedad autoinmune, que se produce cuando el sistema inmunológico destruye las células del páncreas que producen insulina, lo que significa que las personas afectadas necesitan insulina de forma externa. Suele aparecer en la infancia o durante la adolescencia. Por otro lado, la diabetes mellitus de tipo 2 es más común y se desarrolla cuando el cuerpo no utiliza la insulina de manera efectiva o no produce la suficiente. Se estima que el 90 % de las personas que padecen diabetes lo son de tipo

2, siendo los principales factores que originan esta condición de tipo socioeconómicos, como pueden ser la obesidad por el acceso limitado a alimentos saludables, la inactividad física, un menor acceso a atención médica en personas de bajos ingresos, un bajo nivel educativo o la influencia de tradiciones culturales en la dieta.

En este ámbito, se han desarrollado distintas propuestas y soluciones tecnológicas para su manejo eficaz, Figura 1.3. Entre las propuestas existentes encontramos los sistemas de monitorización continua de glucosa (Continuous Glucose Monitoring, CGM) (Lin et al., 2021), que representan un avance respecto a los sistemas tradicionales basados en mediciones puntuales, ya que ofrecen una vigilancia continua de los niveles de glucosa. También se han desarrollado otras tecnologías, como el páncreas artificial (Kesavadev et al., 2020), que combina CGMs con dispositivos de administración de insulina, para realizar el procedimiento de manera automática. Además, se han propuesto nuevas soluciones que integran inteligencia artificial para estimar niveles de glucosa en base a patrones y datos históricos (Ahmed et al., 2023; T. Yang et al., 2022; Zhang et al., 2021; Zhu et al., 2022), lo que supone un avance en el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 1, pero cuyos efectos en el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 son mínimos, al requerir esta última mantener la adherencia a unos hábitos saludables para realizar un control efectivo de la misma ¹.

Un aspecto relevante para la implantación a largo plazo de los sistemas IoT es la valoración de su sostenibilidad (Nizetic et al., 2020). Dicha valoración aborda de una manera integral el sistema

¹<https://www.idf.org/aboutdiabetes/type-2-diabetes.html>



En la literatura podemos encontrar diferentes taxonomías (Espinosa et al., 2021; López et al., 2023) con el fin de analizar el alineamiento de los sistemas IoT con los Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS) (Organización de las Naciones Unidas, 2015), enmarcados dentro de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

8



FIGURA 1.4: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/>

el bienestar de las personas mientras se protege el medio ambiente y se garantiza que los recursos se gestionen de manera sostenible. Entre los aspectos que abordan se encuentran la erradicación de la pobreza y el hambre, la mejora de la educación, promover la igualdad de género y fomentar la innovación, entre otros.

1.2. Justificación de la tesis doctoral

A pesar de los avances sustanciales en la investigación y desarrollo de tecnologías de sensores, HAR, IA e IoT en el sector de la salud (Liu et al., 2021), y en concreto en el de diabetes mellitus de tipo 2, existe la necesidad de abordar las siguientes problemáticas clave:

- **Falta de metodologías estandarizadas.** En la actualidad persiste una notable carencia de metodologías estandarizadas que guíen de manera efectiva el diseño, implementación y adaptación de plataformas orientadas a la monitorización de la salud para conocer la adherencia de comportamientos saludables en el hogar. Este hecho implica retos a la hora de personalizar las plataformas a nuevas condiciones de salud y entornos, lo cual dificulta su adopción a gran escala.
- **Desafíos en el reconocimiento de actividades humanas en el hogar para contextos multiocupación.** Los actuales sistemas de reconocimiento de actividades enfrentan una serie de desafíos significativos en la gestión de la incertidumbre. Dicha incertidumbre está asociada a la complejidad de describir las actividades humanas por su amplios grados de libertad en entornos domésticos, especialmente en situaciones complejas como los entornos con múltiples personas, es decir, multiocupación. Estas limitaciones impactan negativamente en la capacidad de los sistemas de reconocimiento de actividades para gestionar la incertidumbre en la descripción de las actividades de los comportamientos en el hogar. Este desafío es especialmente crítico en el seguimiento de pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, donde el seguimiento de los hábitos saludables y de la actividad física, constituyen un pilar central para el control efectivo de la enfermedad ².

- **Insuficiente evaluación de la sostenibilidad.** Actualmente

²<https://www.idf.org/aboutdiabetes/type-2-diabetes.html>

existe una deficiencia considerable en la evaluación integral de la sostenibilidad de los sistemas inteligentes de salud, particularmente en lo que respecta a su alineación con los ODS establecidos en la Agenda 2030. A pesar de los avances en el desarrollo de tecnologías innovadoras, el impacto de estas tecnologías en la sostenibilidad ambiental y social no está siendo evaluado en sus múltiples dimensiones, lo que plantea riesgos significativos para su implementación responsable y sostenible a largo plazo.

1.3. Propuesta general

La presente tesis doctoral aborda las brechas mencionadas anteriormente a través del desarrollo de metodologías estandarizadas para la creación de plataformas inteligentes de adherencia de comportamientos basadas en sensores. Además, se propone específicamente diseñar una de ellas para la monitorización de pacientes con diabetes mellitus de tipo 2 en entornos domésticos. Se considerará el reconocimiento de actividades humanas en situaciones complejas, con el propósito de manejar la incertidumbre en la evaluación del cumplimiento terapéutico en un contexto multiocupación a través de tecnologías más precisas. Finalmente, se llevará a cabo una evaluación integral de la sostenibilidad de dicha plataforma, asegurando su integración eficaz y responsable en la atención sanitaria domiciliaria, en consonancia con los ODS.

1.4. Objetivos específicos

Sobre la base de la propuesta general definida, se detallan a continuación los objetivos específicos de la investigación que aborda esta tesis doctoral:

1. Desarrollar una metodología innovadora para la creación de plataformas de adherencia de comportamientos saludables en el hogar a través de dispositivos con sensores.
2. Proponer una plataforma de monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2 en entornos domésticos siguiendo la metodología propuesta. Dicha plataforma se denominará Artificial Intelligence to Empower Patients with Diabetes (AI2EPD) diseñada para monitorizar la adherencia a los comportamientos saludables en el hogar a través de un contrato terapéutico con la persona sanitaria.
3. Proponer una metodología para la integración y análisis de los datos en la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, en contextos complejos de multiocupación con tecnologías más precisas como UWB (Ultra Wide Band) donde la localización y la actividad no son inferidas en la nube sino en los dispositivos de cómputo ubicados en el domicilio del paciente en la capa niebla, con el objetivo de optimizar las comunicaciones. Dicha propuesta aborda la personalización de la metodología en un escenario de multiocupación, considerando la coexistencia de múltiples

personas en el hogar.

4. Evaluar de manera exhaustiva la plataforma AI2EDP de monitorización de adherencia al tratamiento para pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, mediante su alineación con los ODS de la Agenda 2030. Este objetivo también abarca la identificación de prácticas sostenibles y la formulación de recomendaciones para su implementación a gran escala, asegurando un impacto positivo tanto a nivel ambiental como social.

1.5. Estructura de la tesis doctoral

Con la finalidad de conseguir los objetivos presentados en esta tesis doctoral y de acuerdo a lo establecido en el artículo 25, punto 2, de la normativa vigente para los Estudios de Doctorado en la Universidad de Jaén, correspondiente al programa establecido en el Real Decreto 99/2011, esta memoria de investigación es presentada por un compendio de artículos junto a una protección software que han sido elaborados por el doctorando, los cuales recogen la investigación realizada durante su periodo doctoral.

Estas publicaciones conforman el núcleo de la tesis doctoral, e incluyen dos artículos científicos publicados en revistas internacionales indexadas en la base de datos Journal Citation Reports (JCR), gestionada por el Institute for Scientific Information, en los cuales el investigador que presenta la tesis es el primer autor. Como resultado de esta investigación, se ha desarrollado y protegido

un software denominado AI2EPD, además de presentar un trabajo científico en un congreso internacional de reconocido prestigio.

Finalmente, para concluir este capítulo, se detalla la estructura de la presente tesis doctoral:

- **Capítulo 1.** El presente capítulo proporciona una visión general de la tesis doctoral, presentando el contexto y la justificación de la investigación, así como la importancia de abordar la problemática identificada. Se detallan las motivaciones que han impulsado el desarrollo de esta investigación, fundamentadas en la relevancia científica, tecnológica y social del tema, y se expone la propuesta general y los objetivos específicos que guían la investigación.
- **Capítulo 2.** En este capítulo se abordan las tres áreas clave que respaldan la propuesta. En primer lugar, se analiza la monitorización de actividades humanas mediante el uso de sensores, destacando los enfoques y tecnologías más relevantes para la detección y registro de comportamientos. En segundo lugar, se exploran las tecnologías de localización en interiores, con énfasis en sistemas como la Ultra-Wideband (UWB), que permiten una ubicación precisa en entornos complejos. Finalmente, se examina la evaluación de la sostenibilidad en sistemas IoT, abarcando criterios medioambientales, económicos y sociales para asegurar un impacto positivo a largo plazo.
- **Capítulo 3.** En este capítulo se expone y se evalúa la metodología desarrollada para la monitorización de la

adherencia a tratamientos en entornos domésticos para pacientes con diabetes mellitus de tipo 2. Se presenta una propuesta de metodología estandarizada para el desarrollo de plataformas de adherencia basadas en sensores, incluyendo el diseño e implementación de la plataforma AI2EPD, la cual ha sido protegida mediante propiedad intelectual. Se incluye un artículo publicado en el JCR que detalla los resultados obtenidos en esta investigación, así como una discusión sobre las implicaciones y una evaluación de la plataforma AI2EPD respecto a otras plataformas de seguimiento de tratamientos actualmente disponibles en el mercado.

- **Capítulo 4.** Se propone una metodología para la integración y análisis de datos en la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2 en contextos de multiocupación, utilizando la tecnologías de localización UWB. Se presenta el marco de trabajo que aborda este entorno complejo, se detalla el rol de la capa de niebla, donde se computa la localización y las actividades en tiempo real a través de dispositivos ubicados en el domicilio del paciente. Asimismo, se explica la personalización de la metodología en un escenario concreto de multiocupación.
- **Capítulo 5.** Se presenta una evaluación de la sostenibilidad de la plataforma AI2EPD, examinando su alineación con los 17 ODS de la Agenda 2030. La investigación presenta la herramienta de evaluación utilizada para medir la sostenibilidad del sistema, ofreciendo un análisis pormenorizado de la plataforma en

relación con los ODS. Se incluye un artículo publicado en el JCR que expone los resultados de dicho estudio, acompañado de una discusión sobre las recomendaciones para mejorar la sostenibilidad de la plataforma y una reflexión sobre los desafíos futuros en la implementación a gran escala de los sistemas inteligentes de salud.

- **Capítulo 6.** En el último capítulo se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo y los resultados de esta tesis doctoral. Se resumen los hallazgos más relevantes y se reflexiona sobre su impacto en la monitorización de la salud en el hogar, la adherencia a tratamientos y la sostenibilidad de los actuales sistemas inteligentes de salud. Como conclusión, se revisan las publicaciones derivadas de la investigación y se presentan las contribuciones al campo del estudio.

Capítulo 2

Revisión de trabajos relacionados

2.1. Introducción

Para abordar la propuesta de esta tesis doctoral, que se centra en el desarrollo de metodologías estandarizadas para la creación de plataformas de adherencia de comportamientos basadas en sensores, se debe profundizar en varios aspectos clave de la literatura científica. En particular, se propone el diseño de una plataforma específica para la monitorización de pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en entornos domésticos, con énfasis en el reconocimiento de actividades humanas en situaciones complejas. La complejidad de estos entornos plantea importantes desafíos, especialmente en la gestión de la multiocupación al evaluar el cumplimiento terapéutico.

Para abordar estas brechas, la propuesta considera el uso de tecnologías de localización más precisas, como UWB, que permiten

una monitorización detallada de la actividad y la localización del paciente en tiempo real. Además, entre las propuestas de esta tesis se incluirá una evaluación integral de la sostenibilidad de la plataforma, garantizando que su implementación sea responsable y esté en línea con los ODS.

Con el objetivo de fundamentar esta propuesta general, en este capítulo se revisarán tres áreas principales. En primer lugar, la monitorización de actividades, centrándose en cómo las tecnologías actuales han abordado la identificación de comportamientos humanos. En segundo lugar, las tecnologías de localización en interiores, como UWB, y su aplicabilidad. Finalmente, la evaluación de la sostenibilidad en sistemas IoT, crucial para asegurar la escalabilidad y el impacto positivo a largo plazo de la plataforma propuesta.

Por tanto, la revisión realizada en este capítulo proporciona el marco teórico necesario para alcanzar los objetivos de esta tesis doctoral.

2.2. Monitorización de actividades humanas

La monitorización de actividades humanas (Aggarwal y Ryoo, 2011) consiste en la observación, registro y análisis de comportamientos y acciones en diversos contextos mediante el uso de tecnologías avanzadas. Su relevancia se ha incrementado significativamente en aplicaciones en el ámbito de la salud, donde se utiliza para el cuidado de personas mayores (Martínez et al., 2021), pacientes en rehabilitación (Schrader et al., 2020) o personas con alguna

discapacidad. En este sentido, mediante el reconocimiento de actividades humanas, los dispositivos portátiles y los sensores ambientales permiten realizar un seguimiento continuo y no invasivo de las actividades diarias, mejorando la calidad del cuidado y reduciendo los riesgos asociados a caídas o emergencias (Al-Qaness et al., 2022).

Existen diversos enfoques destinados a la monitorización y reconocimiento de actividades humanas, entre los cuales destacan dos de los más populares: aquellos basados en sensores y los que se fundamentan en el uso de imágenes (Borja et al., 2022; Chen et al., 2012; Demrozi et al., 2020; Lopez et al., 2015).

Los métodos basados en sensores emplean dispositivos portátiles, tales como acelerómetros y giroscopios, que permiten medir el movimiento corporal, lo que facilita estimar con precisión la posición y postura de una persona en tiempo real (Bhola y Vishwakarma, 2024; Chinimilli et al., 2017). Además de estos sensores, existen los denominados sensores ambientales, que incluyen dispositivos como los sensores de apertura, de movimiento o de proximidad, los cuales se distribuyen estratégicamente en el entorno para obtener información sobre los comportamientos y acciones de la persona usuaria. Estos sensores, en conjunto, recopilan datos que son procesados posteriormente para identificar patrones de comportamiento y actividades específicas. Si bien es cierto que no se dispone de la misma cantidad de información que mediante otros enfoques, también se adquiere una mayor privacidad y un menor uso de recursos, especialmente de cómputo.

Los enfoques que utilizan cámaras de visión permiten capturar imágenes de las personas mientras realizan diversas actividades, las cuales, una vez obtenidas, son procesadas a través de avanzados algoritmos de visión por computador, cuyo objetivo consiste en identificar patrones específicos y reconocer dichas actividades, habitualmente en tiempo real (Bhola y Vishwakarma, 2024; Demrozi et al., 2020; Manaf y Singh, 2021).

Los enfoques basados en cámaras de visión presentan una ventaja considerable al no ser invasivos, ya que no requiere que la persona lleve consigo ningún dispositivo vestible, como los previamente mencionados, lo cual facilita su uso en diferentes contextos, aporta además la capacidad de reconocer al individuo, por lo que puede ser especialmente útil en entornos multiocupación. Sin embargo, su implementación puede implicar la necesidad de un procesamiento mucho más intensivo que con los sistemas basados en sensores, demandando mayores recursos de hardware para asegurar un rendimiento adecuado (Chen et al., 2012), requiriendo por tanto una mayor instalación en el sitio en el que se despliegue el sistema. Además, no se debe pasar por alto que esta tecnología puede suscitar preocupaciones éticas y legales relacionadas con la privacidad de las personas monitorizadas, especialmente cuando se utiliza en ámbitos sensibles como el hogar o el lugar de trabajo.

Como ya se ha comentado, en esta tesis doctoral se optará por el enfoque de reconocimiento de actividades basado en sensores, ya que presentan las ventajas de la privacidad y el coste de recursos respecto a los basados en imágenes (2012).

Dado que los sistemas con sensores ambientales no habilitan la identificación de la persona que realiza la actividad, es necesario complementarlos para poder lidiar con entornos multiocupación (Q. Li et al., 2020).

Multiocupación en reconocimiento de actividades

Los entornos de multiocupación en el reconocimiento de actividades se refieren a situaciones en las que varias personas comparten un espacio físico y llevan a cabo diversas actividades simultáneamente (Benmansour et al., 2015).

Este tipo de entornos, como hogares, oficinas o espacios públicos, presentan desafíos significativos para la monitorización y el reconocimiento de comportamientos, ya que la complejidad aumenta con la cantidad de ocupantes y sus interacciones. En los entornos multiocupación, las actividades pueden ser variadas y superponerse, lo que dificulta la identificación precisa de cada acción y su contexto.

Por ejemplo, en un hogar, un miembro de la familia puede estar cocinando mientras otro está viendo la televisión, lo que complica el reconocimiento de actividades específicas como preparar la comida o descansar. La incertidumbre en la descripción de actividades también se ve influenciada por factores como el uso de dispositivos, la ubicación dentro del espacio y el tipo de tecnología empleada para el seguimiento.

Por lo tanto, para lograr un reconocimiento efectivo de actividades en entornos multiocupación, se requieren enfoques avanzados que

integren tecnologías de localización y algoritmos de inteligencia artificial capaces de discernir y desambiguar las acciones de cada ocupante, garantizando una monitorización precisa y contextualizada de los comportamientos.

2.3. Tecnologías de localización en contextos multiocupación en interiores

En la actualidad existen diferentes tipos de tecnologías que habilitan realizar una localización en interiores. A la hora de seleccionar la tecnología más adecuada para identificar la localización en interiores, se debe tener en cuenta que es un proceso crítico que debe considerar diversos factores, como el nivel de precisión requerido, el rango de cobertura, la infraestructura disponible y la complejidad de la implementación (Hayward et al., 2022; Zafari et al., 2019).

Resulta esencial realizar un análisis de cada tecnología antes de seleccionar una tecnología para que se adapte a las necesidades específicas. Entre las opciones disponibles en la literatura se encuentran los sistemas de sensores mecánicos, que emplean unidades de medición inercial (IMU) como acelerómetros y giroscopios. Estos dispositivos permiten calcular el movimiento en términos de posición y ángulo a partir de un punto inicial, así como la velocidad del objeto en movimiento. Inicialmente fueron diseñados para su uso en exteriores, como sistemas de posicionamiento para aviones o drones, aunque se ha demostrado su eficacia en entornos interiores (Lee et al., 2021; M. Sun et al., 2022; X. Yang et al., 2021).

Uno de los principales desafíos en las unidades de medida inerciales es la acumulación de errores de deriva, que se produce debido a pequeñas imprecisiones en las lecturas de aceleración y giro. Esta deriva se vuelve más significativa con el tiempo, lo que puede llevar a un posicionamiento inexacto, aunque existen soluciones para afrontar este problema (Feng et al., 2020; Vitali et al., 2020). Además, los IMUs son sensibles a perturbaciones externas, como vibraciones o cambios en la superficie sobre la que se mueven, lo que puede influir en la precisión de los datos.

Por otro lado, la tecnología basada en ultrasonidos también es relevante en los contextos de localización en interiores. Esta tecnología utiliza la propagación de pulsos acústicos, transmitidos por un generador de audio hacia dispositivos fijos o móviles dentro de un espacio cerrado, lo que permite un mapeo preciso de la posición (Esslinger et al., 2020; Mannay et al., 2021). Una de las principales ventajas de esta tecnología es que no penetra las paredes y es relativamente económica. No obstante, presenta limitaciones en cuanto a su alcance y puede requerir un despliegue extenso, especialmente en entornos grandes.

Los sistemas de localización LiDAR (Light Detection and Ranging) se han convertido en una herramienta para mapear y navegar en entornos complejos (Eeckhaut et al., 2007; Satale y Kulkarni, 2003; Zou et al., 2021). Esta tecnología utiliza pulsos de luz láser para medir distancias con alta precisión, permitiendo crear mapas tridimensionales detallados que reflejan la disposición del espacio. Gracias a su capacidad para detectar obstáculos y características

arquitectónicas, el LiDAR es especialmente útil en aplicaciones como la navegación de robots y vehículos autónomos (Wu et al., 2023).

Sin embargo, el uso de LiDAR en entornos interiores presenta limitaciones importantes. Uno de los desafíos más significativos es el coste, ya que los sistemas LiDAR de alta calidad pueden ser bastante caros, lo que puede dificultar su adopción en ciertas aplicaciones. Además, el rendimiento de LiDAR puede verse afectado por las condiciones de iluminación y la naturaleza de las superficies; por ejemplo, los objetos transparentes o muy oscuros pueden ser difíciles de detectar, lo que puede llevar a lecturas imprecisas. A pesar de estas limitaciones, el sistema LiDAR sigue siendo una herramienta muy útil en el ámbito de la localización, pero más enfocada a robots, proporcionando datos precisos que mejoran la navegación y la eficiencia en entornos interiores.

En lo referente a sistemas de localización y posicionamiento en interiores, los sistemas basados en radiofrecuencia se posicionan como uno de los más extendidos en aplicaciones comerciales (Hayward et al., 2022), dada su efectividad y adecuación a las diversas necesidades. De estos sistemas se pueden destacar un conjunto de tecnologías, entre las que se encuentran Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, identificación por radio frecuencia (Radio-Frequency Identification, RFID) y Ultra-Wide Band.

A continuación, se revisa cada una de ellas:

- **Wi-Fi** (Roy y Chowdhury, 2022; Ye y Peng, 2022). Los sistemas basados en Wi-Fi utilizan este estándar que opera

en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, 5 GHz y 6 GHz del espectro electromagnético. El alcance de este estándar es variable, pudiendo abarcar desde unos cuantos metros hasta cientos de metros, dependiendo de la banda de frecuencias empleada.

De manera general estos sistemas aprovechan la infraestructura existente de puntos de acceso mediante RSSI (Received Signal Strength Indicator). RSSI es un indicador de fuerza de señal recibida que representa una medida de la potencia de la señal recibida por un dispositivo receptor, como un teléfono móvil, un ordenador o un sensor. Este parámetro se expresa generalmente en decibelios milivatio (dBm) y se utiliza en diversas tecnologías de comunicación, incluyendo Wi-Fi, Bluetooth y redes móviles.

Así, se obtiene el RSSI entre los puntos de acceso ubicados en un lugar conocido y el dispositivo que lleva el usuario, lo que permite conocer la ubicación aproximada. Esta ubicación puede tener un margen de error de entre 2 y 15 metros, debido a interferencias causadas por objetos físicos o a la saturación del espectro electromagnético.

Una de sus principales desventajas es el alto consumo energético que presenta este estándar, ya que se centra principalmente en aumentar en ancho de banda frente a otras alternativas. Cabe destacar que existen alternativas que no requieren que el usuario porte ningún dispositivo, como es el caso del Channel State Information (CSI) (Xue et al., 2022), aunque estas

aproximaciones requieren que el punto de acceso soporte el acceso a dicha información.

- **BLE** (Bai et al., 2020; Koutris et al., 2022). Los sistemas basados en BLE (Bluetooth Low Energy), al igual que aquellos que utilizan Wi-Fi, operan en la banda de frecuencias de 2.4 GHz. Sin embargo, la principal diferencia radica en que el protocolo BLE está diseñado específicamente para un bajo consumo de energía. Estos sistemas emplean dos tipos de roles denominados balizas y anclas. Comúnmente, las balizas son distribuidas por el entorno, ya que son elementos de pequeño tamaño que funcionan con batería. Estas balizas envían señales a través de broadcast que son captadas por el dispositivo ancla, que suele ser un teléfono inteligente, pulsera de actividad u otro tipo de dispositivo, el cual procesa la información para determinar la localización.

Aunque el alcance de BLE es más limitado en comparación con el Wi-Fi, esto puede ser ventajoso en sistemas de localización en interiores, ya que permite restringir el rango a estancias individuales (Pau et al., 2021). Recientemente, se ha implementado la tecnología Bluetooth Direction Finding, que utiliza un conjunto de antenas en la baliza o en el ancla para determinar el ángulo entre los elementos. Esta tecnología puede emplear dos enfoques: el Angle of Departure (AoD) y el Angle of Arrival (AoA).

- **RFID** (Bergeron et al., 2021; Motroni et al., 2021). La

tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia) permite la identificación y el rastreo de objetos o personas mediante etiquetas electrónicas que se comunican con un lector a través de ondas de radio, sin necesidad de contacto visual directo. Dependiendo de la frecuencia utilizada, RFID puede operar en baja frecuencia, alta frecuencia o ultra alta frecuencia.

La baja frecuencia ofrece un alcance limitado de unos pocos centímetros y es menos propensa a interferencias, lo que la hace útil para aplicaciones de control de acceso y similares. La alta frecuencia permite un rango de lectura de hasta un metro y se emplea comúnmente en sistemas de pago sin contacto y billetes electrónicos. Por otro lado, la ultra alta frecuencia proporciona un alcance mayor, de varios metros, y es ideal para aplicaciones en logística, gestión de inventarios y seguimiento de activos.

Aunque los sistemas RFID pueden ofrecer información sobre la presencia de un objeto en una ubicación general, no proporcionan la precisión espacial que tecnologías como UWB (Ultra Wideband) pueden lograr, las cuales se revisarán a continuación.

Además, en los sistemas pasivos, el rango es más limitado porque las etiquetas dependen de la energía del lector para transmitir su información. En contraste, los sistemas activos, que cuentan con una fuente de energía propia, ofrecen un mayor alcance y más posibilidades de seguimiento en tiempo real; sin embargo, su precisión sigue siendo limitada en comparación con

las tecnologías mencionadas anteriormente.

- **UWB** (Poulouse y Han, 2020; Sung et al., 2023). Los sistemas basados en Ultra Wideband operan en un amplio rango de frecuencias, que va desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz. Esta característica les confiere una ventaja significativa frente a otras tecnologías inalámbricas, ya que son menos susceptibles a interferencias y pueden transferir datos de manera más eficiente.

Una de sus principales ventajas es su notable precisión en la localización, con un margen de error de solo unos pocos centímetros, mucho menor que el de tecnologías como Wi-Fi o BLE. Esta alta precisión se logra mediante la medición del tiempo de vuelo de las señales enviadas entre un emisor y un receptor, lo que permite calcular de manera exacta la distancia y ubicación de un objeto o persona.

La capacidad de UWB para proporcionar coordenadas espaciales en tiempo real resulta fundamental en aplicaciones que requieren un seguimiento continuo y preciso, como en el caso de la multiocupación, la gestión de activos o la automatización de procesos industriales.

Además, UWB destaca por su capacidad para penetrar en materiales y operar de manera efectiva en entornos complejos, como en el interior de edificios donde pueden existir obstáculos físicos. Esto la hace ideal para aplicaciones en entornos urbanos, donde las señales de otras tecnologías pueden verse afectadas por interferencias, reflejos y otros factores.

La tecnología UWB también permite la implementación de funcionalidades avanzadas, como la localización en interiores y el análisis de patrones de movimiento, lo que ofrece una perspectiva valiosa en campos como la seguridad y la salud. Por ejemplo, en el sector sanitario, UWB puede utilizarse para rastrear la ubicación de pacientes y personal médico en hospitales, mejorando la eficiencia operativa y la seguridad del paciente.

En esta tesis doctoral se utilizará la tecnología UWB para la localización precisa de pacientes en ambientes multiocupación, aprovechando su alta precisión en la medición de distancias y su capacidad para operar de manera efectiva en entornos complejos. Esta elección permitirá optimizar el seguimiento en tiempo real y mejorar la eficacia.

2.4. Evaluación de sostenibilidad

Frente a los diversos desafíos que enfrenta nuestra sociedad, en 2015 los Estados Miembros de la Organización de las Naciones Unidas se comprometieron a implementar una agenda global destinada a reducir la contaminación, mejorar la salud y la calidad de vida de las personas, y promover la sostenibilidad ambiental a nivel mundial (ONU, 2020). Esta agenda, conocida como los ODS, incluye 17 metas principales cuya consecución exige una evaluación exhaustiva de cualquier actividad en los ámbitos económico, ambiental y social, entre otros.

Para lograr estos objetivos, se han identificado seis pilares fundamentales (Sachs et al., 2019):

1. Igualdad de género, educación y reducción de las desigualdades.
2. Salud, bienestar y dinámica demográfica.
3. Descarbonización energética y promoción de industrias sostenibles.
4. Gestión sostenible de alimentos, agua, tierra y océanos.
5. Desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles.
6. Uso de tecnologías digitales en favor del desarrollo sostenible.

Diversas herramientas han sido propuestas en la literatura para evaluar el progreso hacia los ODS, siendo algunas de las más significativas las siguientes:

- **PNUD:** el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que apoya la implementación de políticas sostenibles (United Nations Development Programme, 2022).
- **SDG Toolkit:** un proyecto a nivel europeo que busca involucrar a ONGs en la implementación de los ODS tanto a nivel nacional como regional (European Environmental Bureau, 2022).
- **SDG Compass:** diseñada para gestionar y dirigir el logro de los ODS a través de estrategias organizacionales (Portier et al., 2015).

- **Caja de herramientas de KTH:** una serie de recursos educativos orientados a integrar el desarrollo sostenible en la enseñanza (KTH Royal Institute of Technology, 2018).
- **TÜV SÜD Test de Autoevaluación ODS:** test que facilita la identificación del estado inicial respecto al nivel de contribución de cada empresa a la Agenda 2030 y los ODS (TÜV SÜD, 2022).
- **SDSN Northern Europe:** una red vinculada a la ONU para fomentar soluciones sostenibles en el norte de Europa (SDSN Northern Europe, 2018).
- **Local 2030:** una plataforma que facilita la localización de los ODS a nivel local, promoviendo el intercambio de soluciones y experiencias (Global Taskforce of Local and Regional Governments, United Nations Human Settlements and Development Programme, 2020).
- **SDG Helpdesk:** proporciona guías, modelos y metodologías para apoyar a los responsables políticos en la implementación de los ODS (Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico y Organización de las Naciones Unidas, s.f.).
- **IRIRS +:** herramienta que emplea taxonomías para medir impactos ambientales (Global Impact Investing Network, 2019).
- **SDG Smart Labs:** laboratorios orientados a la evaluación y experimentación de tecnologías que contribuyan a los ODS (Verdejo et al., 2022).

- **Taxonomía de la Unión Europea:** una clasificación que identifica actividades económicas sostenibles desde el punto de vista ambiental (Comisión Europea, 2020).
- **Taxonomía ODS IoT Healthcare:** proporciona una taxonomía para la evaluación de aplicaciones IoT enfocadas a salud respecto a los ODS (Espinosa et al., 2021).
- **Herramienta de evaluación SET4HEI:** una herramienta para apoyar a las Instituciones de Educación Superior de todo el mundo en la mejora de la medición de sus contribuciones a los ODS (Unesco, 2023).

Particularmente la Taxonomía ODS IoT Healthcare se ha adoptado para evaluar la plataforma AI2EDP en esta tesis doctoral. Dicha taxonomía se enfoca en proyectos de Internet de las Cosas en el ámbito de la salud, alineados con los ODS. Así, esta taxonomía ofrece criterios técnicos actualizados que permiten medir las acciones y tecnologías que no solo contribuyen a mitigar el cambio climático, sino también a fomentar la adaptación a sus efectos.

Capítulo 3

Metodología integral para la monitorización de la adherencia a tratamientos en el hogar: Desarrollo de la plataforma AI2EPD

3.1. Introducción

De acuerdo a lo que establece el artículo 25, punto 2, de la normativa en vigor para los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, del programa establecido en el Real Decreto 99/2011, los artículos de investigación que se presentan en esta tesis doctoral tienen su correspondencia con dos publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR, una protección

software y un congreso internacional de reconocido prestigio.

En el presente capítulo se expone el avance de conocimiento de la publicación científica titulada “A New Horizon in Healthcare: An Innovative Methodology for Sensor-Based Adherence Platforms in Home Monitoring of Key Treatment Indicators” (Díaz-Jiménez et al., 2024). Esta publicación recoge el avance del conocimiento en el diseño y evaluación de una metodología para la creación de plataformas de adherencia basadas en sensores, tal como se especifica en el primer objetivo en el Capítulo 1. Además, se expone la plataforma AI2EPD, la cual ha sido protegida intelectualmente mediante software y ha sido explotada durante meses en el año 2023 en el Centro de Salud Matrona Antonia Mesa Fernández, de la localidad de Cabra (Córdoba).

En este capítulo se presentan, en primer lugar, los índices de calidad de la revista en la que se ha publicado el artículo y los detalles de la protección software. A continuación, se incluye la publicación científica y, finalmente, se ofrece un resumen de la propuesta realizada, incluyendo detalles de la protección software AI2EPD.

3.2. Índices de calidad

La publicación científica titulada “A New Horizon in Healthcare: An Innovative Methodology for Sensor-Based Adherence Platforms in Home Monitoring of Key Treatment Indicators” ha sido publicada en la revista *IEEE Internet of Things Journal*, cuyos índices de calidad son los siguientes:

- Base de datos de indexación: JCR

- Índice de impacto: 8.2
- Año: 2023
- Categoría: COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS
- Posición que ocupa la revista en el área: 9 de 249
- Cuartil: 1
- ISSN: 2327-4662

Los datos de la publicación científica son los siguientes:

- Título: A New Horizon in Healthcare: An Innovative Methodology for Sensor-Based Adherence Platforms in Home Monitoring of Key Treatment Indicators
- Autores: David Díaz Jiménez, José Luis López Ruiz, Jesús González Lama y Macarena Espinilla Estévez
- Revista: IEEE Internet of Things Journal
- Año: 2023
- Volumen:
- Número:
- Artículo:
- DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3424905>

Los detalles de la protección software son los siguientes:

- Número de solicitud: 2304124036753
- Fecha de solicitud: 12/04/2023

- Inventores: González Lama, Jesús; Espinilla Estévez, Macarena; Montoro Lendínez, Alicia; Rodríguez Rodríguez, Nicomedes; Guardado Roper, David; Romero López-Ruiz, Matilde; **Díaz Jiménez, David** y López Ruiz, José Luis.
- Título AI2EPD - ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO EMPOWER THE PATIENT WITH DIABETES.
- Descriptor: Programa de ordenador

3.3. Resumen y discusión

La propuesta de investigación presentada en el Capítulo 3 surge a raíz de la falta de metodologías estandarizadas en el diseño, implementación y adaptación de las plataformas orientadas al cálculo de la adherencia a comportamientos saludables en el hogar contribuye a la dificultad en su personalización y escalabilidad, limitando así su efectividad y adopción generalizada.

Para abordar este problema se propone en esta tesis doctoral una metodología general para la monitorización de la adherencia a comportamientos saludables en el hogar. Para ello, un aspecto crucial es la identificación de las partes interesadas (stakeholders) para que proporcionen sus diferentes puntos de vista, garantizando que todas las perspectivas relevantes se consideren en el diseño de la plataforma (Franco-Trigo et al., 2020; N. L. Laplante et al., 2016; P. A. Laplante et al., 2017). Por tanto, la metodología propuesta hace uso de la participación activa de las personas participantes en cada fase, desde el diseño inicial hasta la evaluación final, asegurando que las

soluciones sean técnicamente sólidas y ajustadas a las expectativas de las diferentes partes.

En la Figura 3.1 se muestra las fases de la metodología propuesta, la cual pasamos a describir.

3.3.1. Metodología propuesta

La primera fase de la metodología la constituye el marco de trabajo, que incluye la identificación de los indicadores clave del tratamiento. Los indicadores clave pueden ser aquellos comportamientos y eventos que sean relevantes para cada patología, para lo cual es necesario la intervención del personal sanitario para su correcta definición. Una vez definidos los indicadores clave, se debe proceder a la selección adecuada de sensores para su monitorización, siendo en este caso lo más adecuado el uso de sensores ambientales o vestibles debido a las menores restricciones en términos de privacidad que respecto al uso de cámaras. Adicionalmente, se debe proceder a realizar un análisis del entorno o vivienda para optimizar la colocación de los sensores ambientales en el hogar, reduciendo los puntos ciegos del sistema y asegurando una red de comunicaciones robusta, minimizando o eliminando las pérdidas de información. Todo este proceso se acompaña del uso de entrevistas y cuestionarios para conocer en detalle las rutinas y comportamientos del o la paciente en concreto.

La segunda fase de la metodología consiste en definir el modelo de reconocimiento de actividades en base a la información previamente recolectada, es decir, establecer el modelo para describir o detectar los comportamientos asociados a los indicadores clave del tratamiento.

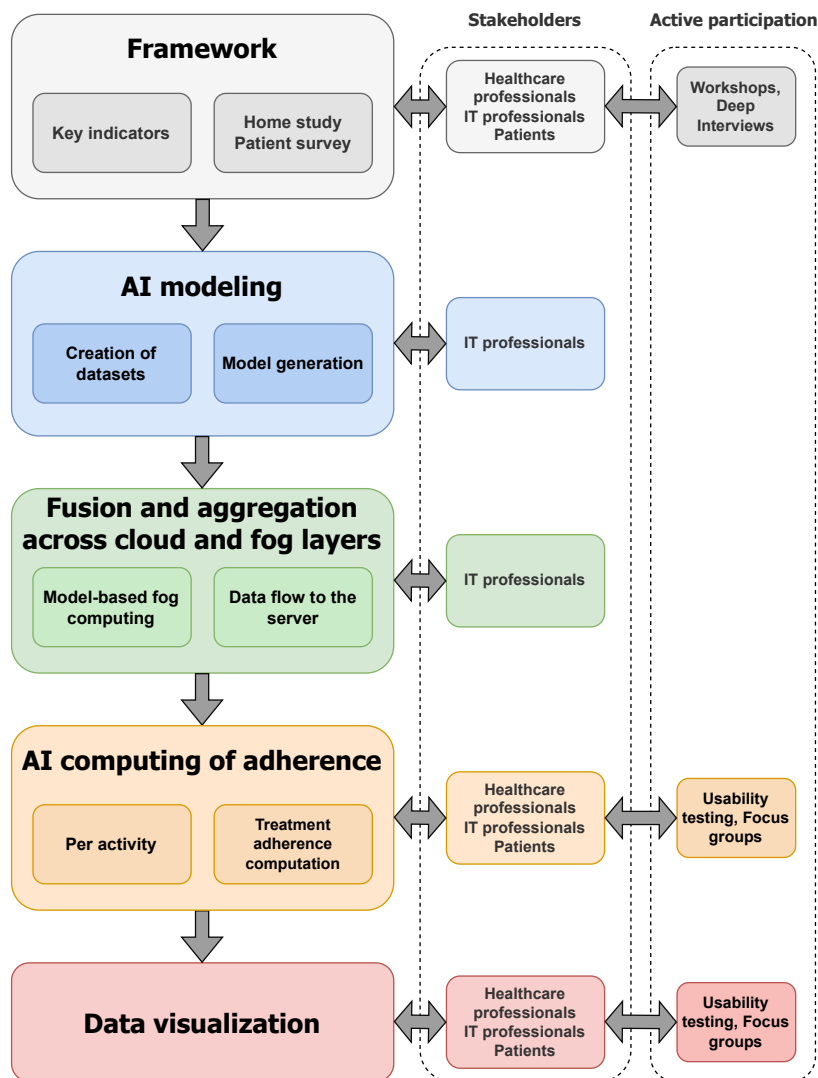


FIGURA 3.1: Metodología propuesta. Fuente: elaboración propia.

Para ello, se debe de escoger el modelo más adecuado en función del contexto. Así, se pueden considerar modelos guiados por datos, guiados por conocimiento e híbridos, siendo estos últimos los que pueden llegar a desenvolverse mejor en un mayor número de situaciones al combinar distintas fuentes de información (Kim et al., 2009).

Respecto a la tercera fase de la metodología, encontramos la integración de los diferentes datos de los múltiples sensores que son desplegados en la casa de cada paciente. Dicha integración se realiza a través de diversas capas de procesamiento como en la capa de niebla, fog, o en la capa de nube, cloud. En dicha integración se buscará la optimizando en el uso de recursos, garantizando una respuesta acorde a las necesidades, entre un enfoque en diferido o en tiempo real.

En la cuarta fase encontramos el cálculo de la adherencia al tratamiento considerando los indicadores clave. Dicha adherencia se computa en la capa de procesamiento en la nube. Para calcular la adherencia al tratamiento se debe tener en consideración las indicaciones proporcionadas por el personal sanitario, ya que ciertos indicadores clave pueden tener asociadas restricciones, por ejemplo, temporales. Así, su cumplimiento fuera de este rango de tiempo puede invalidar la adherencia al comportamiento total o parcialmente.

Finalmente, en la quinta fase, se presenta la visualización de datos, la cual muestra y facilita la interpretación de los cambios en el comportamiento del paciente a lo largo del tiempo, considerando los indicadores clave de su tratamiento. Para ello se busca presentar de

forma clara los valores de los indicadores clave, ya sea mediante el uso de gráficas, cuadros de mando o resúmenes.

3.3.2. Plataforma AI2EPD

Una vez definidas las distintas fases que componen la metodología, se presenta la plataforma propuesta, denominada AI2EPD, como caso de estudio de la metodología presentada anteriormente. Para ello, se han aplicado las distintas técnicas y fases establecidas en la metodología general para el seguimiento de la adherencia a comportamientos saludables asociados a la diabetes mellitus de tipo 2.

Cabe destacar, que durante el desarrollo de la plataforma se han visto involucradas distintas personas con diferentes roles. Por parte del personal sanitario, han participado 2 médicos y 2 enfermeros, encargados de definir los comportamientos saludables y realizar el seguimiento de los pacientes. En el caso de los pacientes, en total han participado 10 personas, a las cuales se les ha instalado el sistema, algunas de ellas encontrándose en situación de multiocupación. Por último, han participado 2 personas cuyo perfil es de Tecnologías de la Información.

En primer lugar, se determinaron los indicadores claves para el seguimiento de la adherencia a comportamientos saludables asociados al control efectivo de la diabetes mellitus de tipo 2. Estos indicadores parten de una base clínica establecida por el personal sanitario. En este caso los indicadores identificados son los siguientes (Montagut-Martínez et al., 2022):

- Actividad física. La actividad física, en este caso caminar, desempeña un papel fundamental en el control efectivo de la diabetes mellitus de tipo 2¹. Para que sea efectiva se deben de realizar sesiones de intensidad moderada durante 30 minutos o realizar un total de 10.000 pasos al día.
- Descanso. La falta de descanso ha sido asociada a un control irregular de la glucosa, resistencia a la insulina, riesgo de prediabetes y diabetes. Es por ello que llevar un control del descanso puede suponer un impacto positivo en la salud en general (Khandelwal et al., 2017).
- Higiene. Una correcta higiene en el tratamiento de la diabetes es esencial para prevenir la aparición de otras enfermedades, ya que la diabetes puede provocar que el sistema inmune sea menos efectivo (Altun et al., 2014).
- Rutinas alimenticias. Mantener una rutina adecuada a la hora de ingerir alimentos constituye una forma efectiva para regular los niveles de glucosa en sangre (ElSayed et al., 2022).
- Medicación. El consumo de medicamentos constituye otra de las formas más efectivas para el control de la glucemia. Para ello es imprescindible respetar las tomas establecidas en cada caso, dentro del horario designado.

Una vez establecidos estos indicadores en forma de comportamientos o actividades, es necesario instanciarlos para cada uno de los o las pacientes en forma de contrato terapéutico. Los profesionales

¹<https://diabetes.org/health-wellness/fitness/diabetes-walking-plan>

sanitarios establecen en este contrato terapéutico las actividades o comportamientos saludables, su frecuencia y las franjas horarias para su realización. Dicho contrato será una componente clave a la hora de evaluar la adherencia al tratamiento de manera personalizada para cada paciente. El contrato terapéutico en el contexto de diabetes mellitus de tipo 2 en la plataforma AI2EPD busca ser dinámico, adaptándose a las necesidades de cada paciente y a los objetivos consensuados con el personal sanitario.

Para fomentar la participación de los diferentes actores en todo el proceso se utilizan una serie de herramientas, algunas de las cuales ya se han mencionado con anterioridad:

- Talleres de co-creación: en estos talleres el personal de Tecnologías de la Información (TI) explica el sistema desde el punto de vista técnico a los diferentes profesionales del personal sanitario involucrados. Se definen en conjunto los requisitos que debe cumplir la plataforma presentada.
- Test de usabilidad: durante el desarrollo del sistema se realizan diferentes test con distintos tipos de personas usuarias para mejorar la usabilidad de la plataforma.
- Grupos focales: se organizan reuniones con grupos compuestos por distintos participantes para recoger sus opiniones y valorar su perspectiva sobre las diferentes funciones del sistema con el fin de mejorarlas.
- Entrevistas en profundidad: se realizan entrevistas con los diferentes pacientes, con el fin de conocer sus hábitos,

comportamientos y experiencias en el manejo de la diabetes.

Dado que los indicadores y las actividades han sido ya establecidos, la primera fase de aplicación de esta metodología, el marco de trabajo, se centra en determinar la distribución de los diferentes sensores en el domicilio de cada paciente.

Para el seguimiento de los comportamientos saludables asociados a los indicadores clave se hace uso de los siguientes sensores:

- Sensores de movimiento: utilizados para monitorizar la presencia en las diferentes estancias del domicilio del paciente.
- Sensores de apertura y cierre: instalados en la caja de los medicamentos y en la puerta principal para registrar su apertura y cierre.
- Sensores de humedad y temperatura: ubicados en las zonas del baño para medir dichos parámetros en el ambiente.
- Sistema de localización basado en anclas BLE: utiliza el RSSI para determinar la estancia en la que se encuentra el paciente mediante un dispositivo vestible (López Ruiz et al., 2023; Montoro Lendínez et al., 2023) y varios dispositivos ancla desplegados por las estancias donde se realizan actividades saludables en el domicilio.
- Dispositivo vestible: proporciona información sobre los pasos dados por el o la paciente y, además, juega el rol baliza dentro del sistema de localización.

En la segunda fase de aplicación de la metodología, modelado IA, se establecen los diferentes modelos y técnicas de inteligencia artificial encargados de determinar la localización del paciente y describir las actividades. Para ello, se hace uso de un sistema híbrido compuesto de dos fases donde la primera fase es guiada por los datos y la segunda fase guiada por el conocimiento, basada en la propuesta de ACTIVA (2023).

A continuación, se describe brevemente el modelo de IA. En primer lugar, se realiza un fase guiada por datos para establecer la localización de cada paciente en su domicilio. Para ello, se hace uso del RSSI entre dos tipos diferentes de dispositivos, las anclas y una baliza. Para generar el modelo de IA que se encarga de la localización es necesario la recogida de un conjunto de datos en la vivienda de cada paciente. Para ello, es necesario que el personal técnico recoja datos de RSSI en la vivienda mientras se van etiquetando las estancias en las que se encuentra.

En segundo lugar, se realiza un fase guiada por conocimiento para la descripción de las actividades descritas en el contrato terapéutico. Para ello, se utilizan los datos de sensores ambientales y los pasos, junto con la salida del modelo guiado por datos a través de reglas.

En la tercera fase de la metodología, fusión y agregación de datos a través de las capas en la niebla y en la nube, encontramos cómo se gestiona y procesa la información a través de las distintas capas que componen la arquitectura de la plataforma. Para el caso de uso descrito, la localización y actividades son computadas en las capas en

la niebla (fog) por cuestiones de privacidad y optimización en el flujo de datos en el servidor. Por tanto, se omite el envío de los flujos de datos generados por los sensores a la capa de la nube, proporcionando una optimización de las comunicaciones.

En algunas ocasiones, puede ser conveniente el envío de todos los datos generados por sensores para comprobar que las operaciones se realizan de manera adecuada, pudiendo ajustar los modelos y protoformas lingüísticas con posterioridad, para optimizarlos en función de las necesidades. En el Capítulo 4 de esta tesis doctoral se explicará en detalle la arquitectura que soporta la plataforma AI2EPD.

En la cuarta fase, computación IA de la adherencia, se realiza el cálculo de la adherencia a los indicadores clave, el cual se realiza en la capa de la nube. Para ello se tienen en cuenta las actividades, la localización de cada paciente y el conocimiento extraído de los hábitos, comportamientos/actividades, del paciente a través de las entrevistas, combinándolos para ajustarse mejor a cada uno de ellos.

En la ultima fase de la metodología, visualización de los datos, encontramos que para que el personal sanitario pueda realizar un seguimiento de los distintos pacientes, éste utilizará la plataforma web AI2EPD desde la que se puede gestionar los diferentes contratos terapéuticos.

La interfaz permite al personal sanitario consultar datos en intervalos de tiempo personalizados, ajustar el contrato terapéutico y analizar la adherencia. El personal técnico por otro lado, puede gestionar

los diferentes dispositivos y asegurar la integridad de la plataforma AI2EPD.

Dentro de la plataforma propuesta AI2EPD ha sido crucial el uso de tecnologías clave. A continuación se muestran aquellas más relevantes y su función:

- Mosquitto: servidor MQTT que facilita la transferencia eficiente y segura de datos entre dispositivos.
- Home Assistant: plataforma de automatización del hogar que, integrada junto con Mosquitto, permite la comunicación entre sensores y dispositivos.
- TLS (Transport Layer Security): protocolo de seguridad que asegura la confidencialidad e integridad de los datos transmitidos a través de Internet mediante cifrado.
- Nginx: servidor web que actúa como proxy de terminación TLS, habilitando conexiones HTTPS seguras y registrando las comunicaciones para auditoría y análisis forense.
- Django: marco de desarrollo web que ofrece módulos integrados para acelerar el desarrollo y despliegue de la plataforma.
- Contenedores Docker: utilizados para ejecutar elementos en la nube y en la niebla, simplificando la escalabilidad y el despliegue al proporcionar un entorno aislado y reproducible.

3.3.3. Comparación de la plataforma AI2EPD

En la literatura podemos encontrar otras plataformas y metodologías utilizadas en la monitorización de la adherencia de tratamientos. A continuación, se presenta una comparación de la plataforma AI2EPD con las plataformas y metodologías más relevantes entre las que se encuentran: Wisepill², SureAdhere³, Everwell⁴ y MEMS AS⁵.

La comparación indica que solamente la plataforma propuesta AI2EPD y SureAdhere utilizan herramientas de inteligencia artificial y Big Data, mientras que otras alternativas como Wisepill, Everwell y MEMS AS no lo hacen, lo que supone una ventaja de AI2EPD al poder analizar los datos.

Todas las plataformas ofrecen alta seguridad, con AI2EPD ofreciendo mayor información sobre los indicadores clave empleados para la monitorización.

Otras plataformas como SureAdhere, Everwell y MEMS AS tienen capacidades multipropósito, incluyendo Terapia Observada por Vídeo (VDOT).

AI2EPD abarca una monitorización más integral que incluye la realización de actividades, como la actividad física y nutrición.

Wisepill y Everwell se enfocan en recordatorios de medicamentos y son especialmente fáciles de usar.

²<https://www.wisepill.com/>

³<https://www.sureadhere.com/>

⁴<https://www.everwell.org/>

⁵<https://aardexgroup.com/medication-adherence-software/>

En términos de interconexión con otros sistemas, solamente SureAdhere soporta Infraestructura como Servicio (IaaS) de terceros, permitiendo integrar información de otros sistemas y viceversa.

3.3.4. Tendencias futuras

Dado el contexto de aplicación de las plataformas de monitorización de comportamientos saludables en el hogar, es necesario evaluar las futuras consideraciones para posteriores avances en este campo. Así, se han identificado las siguientes tendencias futuras:

- Privacidad y seguridad de la información. Dados los datos que pueden llegar a gestionar este tipo de plataformas es necesario cumplir con las diferentes regulaciones y normas como el REGLAMENTO (UE) 2016/679 RGPD, Reglamento General de protección de Datos, REGLAMENTO (UE) 2017/745 sobre los productos sanitarios o Norma UNE-EN 80001, aplicación de la gestión del riesgo para las redes de tecnología de la información que incorporan dispositivos médicos.
- Seguridad. Este tipo de sistemas deben de ser seguros para el paciente, evitándoles cualquier daño, ya sea físico causado por los propios dispositivos o a través de recomendaciones erróneas que pueden llevar a la toma de malas decisiones por parte del personal sanitario.
- Explicabilidad. Para asegurar la confianza en este tipo de sistemas, se debe ofrecer la información de manera sencilla

y explicable, de tal manera que el personal sanitario pueda entender las decisiones tomadas por el sistema.

- Imparcialidad y prevención de prejuicios. Dependiendo de la finalidad del sistema es necesario asegurar la imparcialidad de los algoritmos y técnicas aplicadas. Para ello es necesario que los datos utilizados por los algoritmos se distribuyan de manera equitativa, con el fin de eliminar posibles sesgos ocultos.
- Interoperabilidad. La interoperabilidad se postula como un factor clave para el desarrollo de plataformas con mayores capacidades, siendo necesario adoptar estándares para el intercambio de información.
- Adaptabilidad a diferentes contextos y patologías. Los sistemas deben soportar la personalización atendiendo a las necesidades de cada paciente y del personal sanitario, ya sea soportando distintos tipos de patologías y entornos de monitorización, como residencias y hospitales.
- Evaluación de la eficacia de las intervenciones. Se necesitan desarrollar métodos para medir la eficacia de las intervenciones, así como herramientas para evaluar de manera sencilla la usabilidad y la aceptabilidad.
- Incorporación de los avances en Inteligencia Artificial y análisis de Big Data. Incorporar los nuevos avances en dichas tecnologías permitiría el análisis de grandes flujos de datos, que junto su combinación con datos de otras fuentes, podría revelar patrones no observables a simple vista.

Capítulo 4

Metodología de monitorización de hábitos saludables en Diabetes Tipo 2 con tecnologías UWB en multiocupación

4.1. Introducción

De acuerdo a lo que establece el artículo 25, punto 2, de la normativa en vigor para los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, del programa establecido en el Real Decreto 99/2011, los artículos de investigación que se presentan en esta tesis doctoral tienen su correspondencia con dos publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR, una protección

software y un congreso internacional de reconocido prestigio.

En este capítulo se incluye la publicación científica titulada “Methodology based on linguistic protoforms for activity detection in patients with type 2 diabetes mellitus” (Díaz Jiménez, López Ruiz, González Lama y Espinilla, 2024), la cual recoge el avance del conocimiento para la integración y análisis de datos provenientes de sensores para describir las actividades de pacientes con diabetes mellitus de tipo 2 en un contexto multiocupación y con tecnología UWB para su sistema de localización.

En este capítulo se presentan, en primer lugar, los índices de calidad de la publicación en la que se ha publicado el trabajo científico. A continuación, se incluye la publicación científica y, finalmente, se ofrece un resumen de la propuesta realizada.

4.2. Índices de calidad

La publicación científica titulada “Methodology based on linguistic protoforms for activity detection in patients with type 2 diabetes mellitus” ha sido publicada en el congreso internacional de prestigio *57th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, cuyos índices de calidad son los siguientes de acuerdo al GGS Conference Rating establecido en octubre de 2021 y elaborado por GGS compuesto por: 1) GII: Group of Italian Professors of Computer Engineering, 2) GRIN: Group of Italian Professors of Computer Science y 3) SCIE: Spanish Computer-Science Society.

- GII-GRIN-SCIE (GGS) Class: 2

- GII-GRIN-SCIE (GGS) Rating: A
- Qualified Classes, LiveSHINE:A+
- Qualified Classes, MA:A
- Collected Classes: A+, A
- Cuartil: 1
- ISSN: 1660-4601

Los datos de la publicación científica son los siguientes:

- Título: Methodology based on linguistic protoforms for activity detection in patients with type 2 diabetes mellitus
- Autores: David Díaz Jiménez, José Luis López Ruiz, Jesús González Lama y Macarena Espinilla Estévez
- Congreso: 57th Hawaii International Conference on System Sciences
- Año: 2024
- URL: https://aisel.aisnet.org/hicss-57/da/soft_computing/3/

4.3. Resumen y discusión

La propuesta de investigación presentada en el Capítulo 4 parte de las limitaciones actuales en el reconocimiento de actividades humanas en el hogar, derivadas de la complejidad asociada a la incertidumbre al describir dichas actividades en entornos complejos durante la monitorización de comportamientos saludables en pacientes con

diabetes. Esta complejidad se debe a los amplios grados de libertad en la realización de actividades, sumado a la posibilidad de multiocupación, lo cual representa un reto adicional.

Este capítulo propone una metodología para la integración y análisis de datos en la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en contextos de multiocupación, utilizando tecnologías de localización UWB. Se presenta el marco de trabajo que aborda este entorno complejo, se detalla el rol de la capa en la niebla, donde se computa la localización y las actividades a través de dispositivos ubicados en el domicilio del paciente. Asimismo, se explica la personalización en un escenario concreto de multiocupación para la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus tipo 2.

4.3.1. Marco de trabajo

En el marco de trabajo se definen los elementos que van a ser de interés para la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en contextos de multiocupación. Para ello, se definen los siguientes elementos:

- **Espacio interior:** se define un espacio interior S delimitado por una caja envolvente (Axis-Aligned minimum Bounding Box (AABB)) B_{main} , determinado por dos puntos p_1 y p_2 . El punto p_1 coincide con el origen cartesiano O . El espacio interior corresponderá a la vivienda de cada uno de los pacientes con diabetes mellitus de tipo 2.

- **Ubicaciones relevantes:** dentro de S , se identifican ubicaciones relevantes $\{L_1, \dots, L_j, \dots, L_J\}$ para determinar quién realiza el comportamiento detectado. Cada ubicación relevante L_j está definida por un ABBB $B_j \subseteq B_{\text{main}}$.
- **Pacientes:** se establecen y monitorizan pacientes $\{P_1, \dots, P_k, \dots, P_K\}$ dentro de S , cada uno con un contrato terapéutico único C_k y un conjunto de actividades $\{A_1, \dots, A_k, \dots, A_K\}$ asociadas.

Los dispositivos con sensores, los cuales están ubicados en los domicilios de pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, estarán destinados a la localización en interiores y, posteriormente, a la descripción de las actividades a través de protoformas lingüísticas. Esta descripción considerará tanto la ubicación del paciente como los datos obtenidos por los dispositivos ambientales.

Para el caso de multiocupación, se establecerá un sistema de localización con una tecnología más precisa que es capaz de ofrecer la coordenada X e Y de la baliza o etiqueta en lugar del valor RSSI. Esta tecnología es UWB, siendo los dispositivos para la baliza y para la ancla similares, por lo que es necesario configurar el rol que desempeña cada dispositivo dentro del sistema.

A continuación, se definen y se ilustran en la Figura 4.1 los dispositivos para la localización en interiores de la vivienda y los dispositivos con sensores desplegados también en la misma.

- **Localización interior:** cada ubicación relevante L_j tiene un conjunto asociado de dispositivos ancla UWB

$\{W_1^1, \dots, W_u^j, \dots, W_U^J\}$. Cada dispositivo se asocia a una sola ubicación, y cada paciente P_k tiene un dispositivo de etiqueta o baliza UWB T_k para su localización dentro de S .

Los dispositivos utilizan tecnología UWB para la localización a través de la multilateración y la diferencia de tiempo de llegada (Time Difference of Arrival TDoA) considerando la etiqueta o baliza UWB. Los dispositivos ancla transforman los datos de la baliza o etiqueta en coordenadas 2D (x, y) dentro del espacio que se desea monitorizar.

- **Reconocimiento de actividades:** en cada área relevante L_j se despliegan sensores de apertura, es decir, de tipo abierto y cerrado $\{soc_1^1, \dots, soc_l^r, \dots, soc_L^R\}$, sensores de movimiento $\{sm_1^1, \dots, sm_l^v, \dots, sm_L^V\}$, y un sensor de temperatura y humedad s_{thu} para el cuarto de baño.

Los sensores binarios incluyen sensores de movimiento y de apertura y cierre. Los sensores de movimiento detectan el movimiento mediante tecnología infrarroja y envían valores binarios, en concreto 0 o 1. Los sensores de apertura y cierre detectan el estado a través de un campo magnético.

Los sensores ambientales realizan mediciones de las condiciones del entorno, como la temperatura y humedad del entorno, empleando para ello elementos capacitivos que miden cambios en la capacitancia debido a la variación de humedad y temperatura en el aire.



FIGURA 4.1: Los dispositivos empleados de izquierda a derecha son sensor de movimiento, sensor de apertura y cierre, sensor ambiental y ancla UWB.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. El rol de la capa niebla

Existe un nodo en la niebla en cada uno de los domicilios de cada uno de los y las pacientes con diabetes mellitus de tipo 2. El conjunto de todos los nodos niebla constituyen la capa niebla dentro del sistema o plataforma.

Cada nodo niebla gestiona la comunicación de los dispositivos en cada domicilio. En concreto de las anclas UWB ubicadas en las áreas de interés, los sensores binarios y los sensores ambientales. Las comunicaciones se harán a través del protocolo MQTT.

Tal como se indicó en el Capítulo 3, el nodo niebla también puede contener parte del modelo IA para detectar la localización o describir las actividades con el fin de aligerar las comunicaciones y aumentar la privacidad de la gestión de los datos.

En nuestro caso, el dispositivo de niebla instalado en cada domicilio es una computadora de placa única (Single Board Computer, SBC) que realiza diversas tareas de cómputo del modelo IA. Este dispositivo integra el broker para la comunicación mediante MQTT, implementa un modelo de lógica difusa con protoformas lingüísticas que describen los comportamientos personalizados de cada paciente y, posteriormente, envía los datos a la capa de la nube para computar la adherencia al contrato terapéutico, siguiendo la arquitectura presentada en el Capítulo 3.

4.3.3. Personalización en contexto de multiocupación

La personalización del modelo de IA dependerá tanto del espacio de un domicilio particular como del contrato terapéutico específico del paciente en un contexto de multiocupación, es decir, cuando convive con otra persona.

Para describir esta personalización, se considera un escenario que involucra a un paciente con un contrato terapéutico establecido por el personal sanitario, que convive con otra persona en un único domicilio.

Contrato terapéutico

El paciente con diabetes en este escenario tiene el siguiente contrato terapéutico establecido por su médico de cabecera:

- Dormir un mínimo de 7 horas.
- Comer 3 veces al día.

- Cepillarse los dientes después de cada comida.
- Tomar su medicación una vez al día.
- Ducharse una vez al día.
- Salir de casa para hacer ejercicio al menos media hora diaria.

Dispositivos con sensores en el domicilio

El entorno domiciliario de monitorización se compone de una vivienda de aproximadamente 46.72 m², 7.3 m x 6.4 m, que cuenta con cuatro habitaciones: dormitorio, baño, cocina, sala de estar y un pasillo.

Los dispositivos desplegados serán utilizados, en primer lugar, para la localización del paciente con diabetes mellitus de tipo 2 dentro de la vivienda y, en segundo lugar, para describir la actividad del paciente considerando tanto la localización como los datos de los sensores desplegados en el entorno.

A continuación, se indica la distribución de los dispositivos con sensores para el sistema de localización y para la descripción de la actividad.

Para el **sistema de localización de interiores** con UWB se utilizan los siguientes dispositivos:

- 7 dispositivos ancla UWB para identificar la ubicación del paciente.
- Un dispositivo de baliza o etiqueta UWB asociado al paciente con diabetes.

Para la **monitorización de las actividades** del contrato terapéutico, se han instalado los siguientes dispositivos dentro del domicilio particular:

- 4 sensores de movimiento. Se despliegan 4 sensores de movimiento en las siguientes ubicaciones del domicilio:
 - Un sensor en el área de la ducha para describir la actividad de ducharse.
 - Un sensor en el área del lavabo para describir la actividad de cepillarse los dientes.
 - Dos sensores de movimiento a los lados de la cama para detectar el movimiento de cada persona mientras duerme, ya que ambas personas duermen en el mismo espacio.
- Un sensor de apertura y cierre en el cajón de los medicamentos para detectar la actividad de toma de medicación.
- Un sensor de temperatura y humedad orientado a la ducha para detectar la actividad de ducharse dentro del cuarto de baño.

Sistema de localización

Para conocer su localización, el paciente lleva un dispositivo baliza UWB, que emite señales de radio UWB de baja potencia a intervalos regulares. Estas señales son recibidas por las 7 anclas distribuidas en el domicilio.

En el domicilio se dividieron diferentes localizaciones de interés con sus cajas envolventes, AABB, que representan las áreas específicas

dentro del espacio con límites bien definidos en las coordenadas X e Y.

A medida que el paciente se mueve, la baliza actualiza constantemente su posición al enviar nuevas señales que son recibidas por las 7 anclas que a su vez envían la información al nodo niebla.

El nodo niebla asocia las coordenadas obtenidas con las diferentes cajas envolventes predefinidas como ubicaciones relevantes. Así, es posible saber en qué zona o región se encuentra el paciente en cada momento, lo que facilita la monitorización de la localización dentro de áreas específicas en tiempo real.

Descripción de actividades

En el contexto del modelado de la incertidumbre en el reconocimiento de actividades, se ha empleado la lógica difusa mediante el uso de protoformas lingüísticas difusas (Zadeh, 1975; 2006).

Las protoformas lingüísticas difusas emergen como herramientas teóricas para abordar la incertidumbre y la imprecisión en el lenguaje natural. Estas protoformas permiten representar grados difusos de pertenencia a categorías o conceptos, a diferencia de las formas convencionales que asignan etiquetas binarias de pertenencia.

Las protoformas lingüísticas propuestas para describir las actividades representan la imprecisión en la realización de actividades, en los valores de las medidas de los sensores, así como ventanas temporales difusas para modelar la evolución a lo largo del tiempo.

Además, se incluyen cuantificadores difusos que expresan la cantidad o proporción de elementos que cumplen con una determinada condición.

Para calcular las expresiones lingüísticas relevantes, se han definido protoformas basadas en los flujos de datos provenientes de dispositivos con sensores. Para ello, se define una protoforma sobre los datos de un sensor, F_d como un término lingüístico difuso V de una medida de un sensor en una ventana temporal difusa a lo largo del tiempo T y un cuantificador difuso Q . Además, en algunas ocasiones puede ser necesario incluir cuantificadores difusos que expresan la cantidad o proporción de elementos que cumplen con una determinada condición.

$$P(F_d) = QVT(F_d) = Q(V \cup T(F_d))$$

Un ejemplo de una protoforma ligada al sensor de apertura de la caja de medicación es “Movimiento del Comedor es alto ahora la mayor parte del tiempo” donde *Alto* es un término lingüístico sobre el flujo de datos del sensor movimiento desplegado en el comedor, *Ahora* es la ventana temporal difusa y *la mayor parte del tiempo* es el cuantificador difuso.

A continuación, se muestra en lenguaje natural las protoformas que se han establecido para describir las actividades del contrato terapéutico en el escenario bajo estudio:

- **Actividad de Comer:**

- Protoforma Localización Comedor: el paciente está presente ahora en el área del comedor la mayor parte del tiempo.
- Protoforma Movimiento Comedor: el movimiento en el comedor es alto durante los tiempos de comida.
- **Actividad de Tomar Medicamentos:**
 - Protoforma Localización Comedor: el paciente está presente en el área del comedor la mayor parte del tiempo.
 - Protoforma Apertura Caja de Medicamentos: el sensor de medicación está activo ahora.
- **Actividad de Dormir:**
 - Protoforma Localización Dormitorio: el paciente está presente en el dormitorio la mayor parte del tiempo.
 - Protoforma Movimiento Dormitorio: el movimiento es activo durante las horas de sueño.
- **Actividad de Cepillado de Dientes:**
 - Protoforma Localización Baño: el paciente está presente en el cuarto de baño la mayor parte del tiempo.
 - Protoforma Movimiento cerca del Cepillo: el movimiento del sensor cerca del cepillo es alto ahora.
- **Actividad de Ducha:**
 - Protoforma Localización Baño: el paciente está presente en el cuarto de baño la mayor parte del tiempo.

- Protoforma Movimiento Baño: el movimiento del sensor del baño es alto ahora.
- Protoforma de Humedad: la humedad es alta ahora.
- **Actividad de Ejercicio:**
 - Protoforma No Localización: el paciente no está presente en el entorno domiciliario ahora.

A continuación, se definen los conjuntos difusos para las ventanas temporales:

Para la actividad de comer, se definen las siguientes ventanas de tiempo difusas fijas para cada *tiempo de las ingestas* considerando las 0h como punto de referencia fijo:

- **Desayuno:** trapezoidal($-18h, -16h, -14h, -12h$).
- **Almuerzo:** trapezoidal($-12h, -10h, -8h, -6h$).
- **Cena:** trapezoidal($-6h, -4h, -3h, -1h$).

Para la actividad de descanso, la ventana temporal durante las *horas de sueño* se modela con la siguiente función difusa fija considerando las 10h como punto de referencia fijo:

- **Horas de sueño:** trapezoidal($-12h, -10h, -2h, 0h$).

Para el valor temporal *ahora*, se utiliza la siguiente ventana de tiempo difusa deslizante:

- **Ahora:** s-shape($-5min, -3min$).

Finalmente, se definen los conjuntos difusos para los dispositivos con sensores.

Para los sensores de movimiento, se analizan ventanas deslizantes de 5 minutos para representar el valor *Alto* y se definen los siguientes conjuntos difusos para modelar el tiempo de activación:

- **Bajo:** $z\text{-shape}(0, 70)$.
- **Medio:** $\text{triangular}(0, 70, 160)$.
- **Alto:** $s\text{-shape}(70, 160)$.

En el análisis de la *humedad*, la diferencia se mide en una ventana temporal de 5 minutos, definiendo los siguientes conjuntos difusos:

- **Bajo:** $z\text{-shape}(2, 5)$.
- **Moderado:** $\text{triangular}(2, 5, 10)$.
- **Alto:** $s\text{-shape}(5, 10)$.

Finalmente, la *actividad física* se determina por la ausencia del paciente en las ubicaciones.

Capítulo 5

Análisis de la sostenibilidad de la plataforma de adherencia: evaluación, impacto y estrategias de mejora

5.1. Introducción

De acuerdo a lo que establece el artículo 25, punto 2, de la normativa en vigor para los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, del programa establecido en el Real Decreto 99/2011, los artículos de investigación que se presentan en esta tesis doctoral tienen su correspondencia con dos publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR, una protección

software y un congreso internacional de reconocido prestigio.

En el presente capítulo se incluye la publicación científica “Assessing the Sustainable Alignment of a Sensor-Based Connected Health System with SDGs: An Evaluation Model and Case Study” (Díaz Jiménez, López Ruiz, González Lama y Verdejo Espinosa, 2024),, la cual recoge el avance del conocimiento en la propuesta y evaluación de una metodología para el desarrollo de plataformas basadas en sensores, en concreto AI2EPD, para el seguimiento de la adherencia de comportamientos saludables conforme al Objetivo Específico 3 de investigación definido en el Capítulo 1.

En este capítulo se presentan, en primer lugar, los índices de calidad de la revista en la que se ha publicado el artículo. A continuación, se incluye la publicación científica y, finalmente, se ofrece un resumen de la propuesta realizada.

5.2. Índices de calidad

La publicación científica titulada “Assessing the Sustainable Alignment of a Sensor-Based Connected Health System with SDGs: An Evaluation Model and Case Study” ha sido publicada en la revista *Smart and Sustainable Built Environment*, cuyo índices de calidad son los siguientes:

- Base de datos de indexación: JCR
- Índice de impacto: 3.5
- Año: 2023

- Categoría: GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY
- Posición que ocupa la revista en el área: 57/91
- Cuartil: Q3
- ISSN: 2046-6099

Los datos de la publicación científica son los siguientes:

- Título: Assessing the Sustainable Alignment of a Sensor-Based Connected Health System with SDGs: An Evaluation Model and Case Study
- Autores: David Díaz Jiménez, José Luis López Ruiz, Jesús González Lama y Ángeles Verdejo Espinosa
- Revista: Smart and Sustainable Built Environment
- Año: 2024
- DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0091>

5.3. Resumen y discusión

La propuesta de investigación presentada en el Capítulo 5 parte de que falta una evaluación adecuada de la sostenibilidad de los sistemas inteligentes de salud, especialmente en su alineación con los ODS de la Agenda 2030. A pesar de los avances tecnológicos, existe una carencia de su evaluación en múltiples dimensiones como, por ejemplo, el impacto ambiental o social. Dicha carencia de evaluación en diferentes dimensiones genera riesgos para su implementación sostenible a largo

plazo, alejándose de los objetivos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas.

5.3.1. Modelo de evaluación de ODS

Un enfoque que ha dado excelentes resultados para la evaluación es la teoría de análisis de decisiones (Clemen, 1996), la cual permite generar una puntuación global a cada alternativa u objeto de evaluación que sintetiza la información recogida sobre cada elemento. Para ello, es necesario establecer un marco de evaluación donde se definan los elementos y sus características, se recoja información relevante sobre dichos elementos en función de sus características, y finalmente, se computen valoraciones parciales de cada característica y una global sobre cada elemento.

Se propone por tanto un modelo de evaluación basado en la teoría de análisis de decisiones para medir la alineación de los sistemas y plataformas de salud con los ODS, utilizando una taxonomía (Espinosa et al., 2021) que establece indicadores específicos para cada ODS. Por tanto, el modelo de evaluación propuesto sigue las siguientes tres fases, las cuales se ilustran en la Figura 5.1.

1. **Marco de alineación:** se establece una estructura con los 17 ODS, y sus indicadores correspondientes, con la plataforma de adherencia de comportamientos saludables en el hogar con sensores.
2. **Recolección de información:** se realiza un análisis detallado de la plataforma de adherencia de comportamientos saludables en

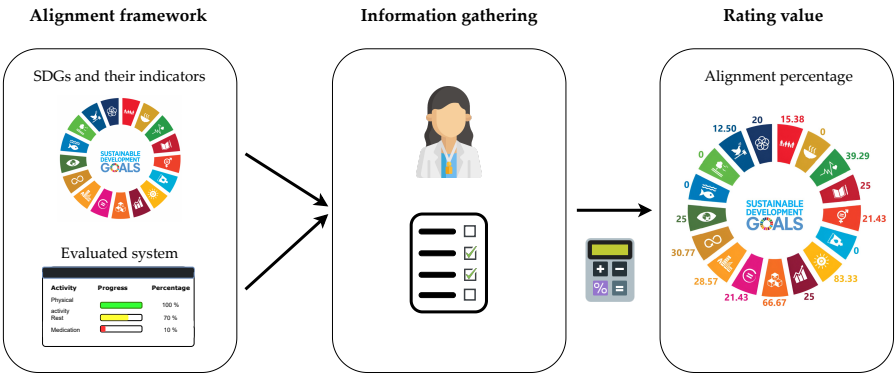


FIGURA 5.1: Esquema del modelo de evaluación para el alineamiento de los ODS. Fuente: elaboración propia.

el hogar con sensores y cada uno de los indicadores establecidos en cada ODS.

3. **Valoración:** se calcula el porcentaje de cumplimiento dividiendo los indicadores alcanzados en cada ODS entre el total de indicadores. Si ciertos indicadores tienen mayor relevancia, se utiliza un promedio ponderado para reflejar su importancia.

5.3.2. **Alineamiento de los ODS con la plataforma de adherencia**

A continuación, se va a proceder a evaluar los indicadores de los ODS de interés. Se han considerado 13 ODS de interés, de los 17 existentes, exceptuando los enumerados a continuación.

Los ODS 2 (Hambre Cero), 6 (Agua Limpia y Saneamiento), 14 (Vida Submarina) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) no se han incluido en la evaluación de la plataforma de adherencia de comportamientos

saludables, dado que la tecnología evaluada no aborda aspectos relacionados con estos objetivos.

Una justificación detallada de la exclusión de dichos ODS se indicará en el análisis correspondiente, explicando la falta de relevancia directa de estos objetivos en el contexto de la plataforma.

ODS 1: Fin de la pobreza

El ODS 1 busca poner fin a la pobreza en todas sus formas, a nivel global. Para ello este objetivo se centra en garantizar que todas las personas, especialmente aquellas en situación vulnerable, tengan acceso a los recursos básicos. También promueve la creación de políticas que aumenten la resiliencia de las comunidades frente a desastres y crisis económicas, abogando por la protección universal.

La evaluación del ODS 1: Fin de la pobreza revela que la plataforma propuesta cumple con 2 de los 13 indicadores evaluados, lo que representa un 15.38 %.

Este objetivo busca erradicar la pobreza en todas sus formas y garantizar una vida digna para todas las personas, mediante el acceso equitativo a recursos económicos y tecnológicos, promoviendo la igualdad y el empoderamiento de los grupos más vulnerables.

La plataforma demuestra su impacto al facilitar el acceso a tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas aplicado a la salud, lo que permite empoderar a las personas al brindar atención sanitaria preventiva y avanzada desde sus hogares. Esta estrategia contribuye por tanto a la reducción del gasto público en salud, al disminuir la

necesidad de visitas a centros médicos, lo que se traduce en un menor uso de recursos públicos a largo plazo. Además, el uso de tecnologías en el hogar fomenta la eficiencia energética, ya que reduce tanto los desplazamientos como el consumo de recursos en los centros de salud.

ODS 2: Hambre cero

Este objetivo no ha sido evaluado, como se indicó anteriormente. La plataforma no está enfocada directamente en el acceso a alimentos o la mejora de la nutrición, lo cual es el objetivo principal de este ODS 2.

Aunque los comportamientos saludables pueden tener una relación indirecta con la salud nutricional, la plataforma evaluada no aborda de forma específica la seguridad alimentaria ni la agricultura sostenible.

ODS 3: Salud y bienestar

El ODS 3 tiene como objetivo mejorar y proteger la salud de las personas, prevenir la propagación de epidemias y promover el bienestar general de la sociedad.

Así, este objetivo destaca la importancia del entorno en la salud y la necesidad de garantizar una cobertura sanitaria adecuada, así como el acceso a vacunas y la mejora de la investigación en salud. La tecnología es por tanto fundamental en este contexto, desempeñando un papel en la investigación y el desarrollo de capacidades en el sector sanitario.

En la evaluación de la plataforma propuesta, esta alcanza un cumplimiento de 11 de los 28 indicadores evaluados, lo que representa un 39.29 %.

La justificación del cumplimiento se presenta en varios aspectos clave. Primero, mejorar la calidad de la atención sanitaria es esencial para garantizar la salud y el bienestar de las personas, y la tecnología es fundamental para lograr una atención eficaz. En segundo lugar, la reducción de factores de riesgo para enfermedades como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares se puede lograr mediante la adaptación tecnológica de dispositivos IoT, sensores y sistemas inteligentes en diversos ámbitos.

Además, las plataformas de adherencia de comportamientos saludables en el hogar con sensores fomentan la creación de sinergias en la atención sanitaria entre los territorios más desarrollados y los menos desarrollados.

La tecnología IoT es crucial en la investigación, prevención y control de enfermedades, especialmente durante pandemias, y se puede aplicar también en la eficiencia de la producción de vacunas y medicamentos, así como en la planificación y gestión de la vacunación poblacional.

ODS 4: Educación de calidad

El ODS 4 busca garantizar una educación equitativa y de calidad para todos, aumentando las habilidades de jóvenes y adultos para acceder a empleo y emprendimiento, y eliminando disparidades de género

e ingresos en el acceso educativo. La adquisición de conocimientos y habilidades esenciales para el desarrollo sostenible es clave para empoderar a las personas hacia vidas autosuficientes.

En la evaluación de la plataforma propuesta, se consideran cumplidos de 3 de los 12 indicadores, lo que representa un 25.00 %.

La justificación de su cumplimiento resalta la importancia de promover competencias educativas y tecnológicas que permitan a la población gestionar plataformas de salud conectadas basados en sensores.

Una educación de calidad debe incluir formación en tecnologías desde la infancia hasta la educación superior, siendo vital en contextos frágiles y conflictivos.

ODS 5: Igualdad de género

El ODS 5 busca la igualdad de género y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas. Se centra en erradicar la violencia de género, promover la participación femenina en la toma de decisiones, garantizar el acceso a educación y salud de calidad, y asegurar igualdad en el acceso a recursos económicos. Estas acciones son esenciales para construir sociedades justas y sostenibles que respeten los derechos humanos.

En la evaluación de la plataforma propuesta se logra un cumplimiento de 3 de los 14 indicadores evaluados, lo que representa un 21.43 % de validación.

La justificación del cumplimiento resalta la necesidad de incluir el análisis de género en todos los estudios, así como la importancia de mejorar la educación técnica y científica de niñas y mujeres, considerando su papel crucial en el cuidado de personas dependientes y la mejora de la calidad de vida en diversas comunidades.

ODS 6: Agua limpia y saneamiento

Este objetivo no ha sido evaluado, como se indicó anteriormente. La plataforma no incluye componentes relacionados con la gestión de recursos hídricos o el acceso a agua potable y saneamiento.

Este ODS está más alineado con infraestructuras físicas y gestión sostenible del agua, lo que no encaja con los objetivos de la plataforma AI2EPD de adherencia de comportamientos saludables en el hogar.

ODS 7: Energía asequible y no contaminante

El ODS 7 busca garantizar el acceso a energía asequible, fiable y sostenible para todas las personas. Se centra en aumentar el uso de energías renovables, mejorar la eficiencia energética y asegurar el acceso universal a servicios energéticos asequibles. Estas acciones son esenciales para reducir la pobreza y mitigar el cambio climático, contribuyendo al desarrollo sostenible.

En la evaluación se ha logrado un cumplimiento de 5 de los 6 indicadores evaluados, lo que representa un 83.33 %.

La justificación del cumplimiento del ODS 7 se fundamenta en varios puntos clave. Primero, el uso de tecnologías que empleen

o promuevan las energías renovables en los hogares y sistemas distribuidos. Además, la forma de suministrar electricidad influye en la eficiencia energética, los sistemas híbridos son un avance hacia la sostenibilidad. La implementación de sistemas inteligentes y tecnologías IoT en el sector energético mejora la eficiencia y ofrece beneficios tanto para las personas como para el medio ambiente. Finalmente, para asegurar la calidad de las instalaciones, es crucial integrar sistemas de control remoto, automatización y sensores que monitorizan parámetros como presión y temperatura, lo que optimiza la eficacia de los sistemas energéticos.

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico

El ODS 8 se centra en promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, así como el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

Este objetivo busca fomentar la innovación, la diversificación y la formalización de las pequeñas y medianas empresas. Además, se enfoca en mejorar la productividad, garantizar condiciones laborales seguras y justas, y abordar el desempleo juvenil. La creación de un entorno económico favorable es esencial para lograr un desarrollo equitativo y sostenible.

En la evaluación de la plataforma propuesta, esta alcanza un cumplimiento de 4 de los 16 indicadores evaluados, lo que representa un 25 % del total.

Se validan por tanto esos cuatro indicadores mediante la

implementación de empleos de alta calidad en el área de tecnología aplicada a la salud, lo que fortalece la economía y promueve el progreso económico, social y en salud. La formación de especialistas médicos y capacitación en IoT es esencial para crear equipos multidisciplinarios y atraer a jóvenes con altas expectativas laborales. Además, las plataformas de adherencia de comportamientos saludables en el hogar con sensores generan nuevos empleos y especialidades. Por último, se requiere inversión en territorios vulnerables, donde la integración de dispositivos inteligentes mejorará las condiciones laborales y el entorno empresarial.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

El ODS 9 se enfoca en construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Destaca la importancia de desarrollar infraestructuras de calidad que faciliten el acceso a servicios y mercados, además de apoyar la creación de industrias sostenibles que generen empleo y crecimiento económico. También se enfatiza la necesidad de fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico para impulsar la sostenibilidad y mejorar la competitividad en un entorno global.

En lo referente a la evaluación 8 de los 12 indicadores se satisfacen, representando el 66.67 %.

Respecto a la justificación de su evaluación, la plataforma propuesta busca mejorar la calidad de vida de personas con enfermedades crónicas y facilitar su acceso a centros de salud al reducir las barreras de transporte. También contribuirá al ahorro energético

y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Las tecnologías inteligentes aplicadas a la salud mejorarán las infraestructuras empresariales.

En concordancia con el ODS 9 también se anticipa que las empresas del sector tecnológico se adapten y que surjan nuevas industrias, promoviendo la innovación y la competitividad.

ODS 10: Reducción de las desigualdades

El ODS 10 busca reducir la desigualdad en y entre los países. Este objetivo se centra en promover políticas que fomenten la inclusión social, económica y política de todas las personas, especialmente las más vulnerables. Se enfoca en garantizar la igualdad de oportunidades, eliminar barreras para el acceso a recursos y servicios, y mejorar la situación de los grupos marginados. Además, aborda la necesidad de mejorar la regulación financiera y facilitar la migración segura y ordenada, contribuyendo así a un desarrollo más equitativo.

Los resultados de la evaluación de este objetivo indican que 3 de los 14 indicadores son satisfechos, representando el 21.43 %.

Aunque la plataforma propuesta podría implementar en Europa, se debe ser replicar y exportar a áreas desfavorecidas, contribuyendo a la reducción de desigualdades según el ODS 10. Por ello, es esencial desarrollar aplicaciones de bajo costo, con una implementación flexible y adaptable.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

El ODS 11 se centra en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Este objetivo busca garantizar el acceso a viviendas adecuadas y servicios básicos, así como la planificación urbana sostenible. Se enfoca en la reducción del impacto ambiental de las ciudades, promoviendo el transporte sostenible y la protección del patrimonio cultural. Además, el ODS 11 enfatiza la importancia de la participación comunitaria en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano, contribuyendo así a la creación de entornos urbanos más habitables y sostenibles.

En total 4 de los 14 indicadores contemplados en este objetivo son validados, representado el 28.57 %.

La justificación viene dada por las mejoras para la población en la implantación de las plataformas de salud. Desatacando también la importancia de usar dispositivos energéticamente eficientes, a la vez que hacen uso de energías renovables para su funcionamiento.

ODS 12: Producción y consumo responsables

El ODS 12 busca garantizar patrones de consumo y producción sostenibles. Para ello se enfoca en mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir desechos y promover prácticas responsables tanto en empresas como en consumidores. Además, aboga por políticas que fomenten la sostenibilidad y el acceso a información sobre

prácticas sostenibles, contribuyendo a un desarrollo ambientalmente equilibrado.

La evaluación de los indicadores ha mostrado que el 30.77 % son validados, representando 4 de los 13 contemplados en el objetivo.

La justificación se basa en que las plataformas enfocadas a la salud y que hacen uso de sensores e IoT se centren en ser lo más eficientes posibles a nivel energético

ODS 13: Acción por el clima

El ODS 13 se centra en combatir el cambio climático y sus efectos. Este objetivo enfatiza la necesidad de adoptar medidas urgentes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalecer la resiliencia de las comunidades y ecosistemas frente a los impactos del cambio climático. También promueve la integración de políticas climáticas en las estrategias nacionales y la cooperación internacional para abordar este desafío global. El ODS 13 destaca la importancia de la educación y la sensibilización sobre el cambio climático, fomentando la participación de todos en la lucha contra este fenómeno.

En cuanto a los indicadores satisfechos, 2 de los 8 enmarcados en este objetivo han sido satisfechos, representando el 25 %.

Las plataformas de adherencia de comportamientos saludables en el hogar con sensores contribuyen a reducir el uso de vehículos contaminantes debido a los desplazamientos a los centros de salud y, con ello, las emisiones de CO₂, lo que ayuda a mitigar el impacto

del cambio climático. La instalación de sensores en las ciudades permitirá la monitorización en tiempo real de las emisiones de gases de efecto invernadero, facilitando la toma de decisiones para reducir la contaminación. Esto no solo mejorará la calidad del aire y la salud pública, sino que también fortalecerá los esfuerzos para proteger el medio ambiente a largo plazo.

ODS 14: Vida submarina

Este objetivo no ha sido evaluado, como se indicó anteriormente. La plataforma AI2EPD no tiene ningún componente relacionado con la conservación de los océanos, mares o la vida submarina.

Dado que la evaluación se centra en la adherencia de comportamientos saludables en el hogar, los aspectos medioambientales marinos no son aplicables en este contexto.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Este objetivo no ha sido evaluado, como se indicó anteriormente. Este objetivo se centra en la conservación de los ecosistemas terrestres, bosques, y la biodiversidad.

La plataforma de adherencia de comportamientos saludables, al estar orientada a la salud en el hogar, no aborda por tanto temas directamente relacionados con la protección, restauración o uso sostenible de ecosistemas terrestres. Por lo tanto, no es relevante en este contexto específico.

ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas

El ODS 16 busca promover sociedades pacíficas e inclusivas, garantizar el acceso a la justicia y construir instituciones efectivas y responsables a todos los niveles. Este objetivo se enfoca en reducir la violencia, combatir la delincuencia y la corrupción, y asegurar la participación de todos en la toma de decisiones.

El análisis de la alineación revela que se cumplen 3 de los 24 indicadores, representando el 12.5 %.

Siendo su justificación que las plataformas que integran sensores, el IoT, la IA y las comunicaciones si se usan de manera consistente pueden promover la justicia en el mundo. Pudiendo mejorar a personas en situación vulnerable, como es el caso de la plataforma propuesta.

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos

Respecto al ODS 17, este se enfoca en fortalecer los medios de implementación y revitalizar la alianza global para el desarrollo sostenible. Este objetivo promueve la cooperación internacional, el intercambio de conocimientos y la movilización de recursos financieros, tecnológicos y humanos. Buscando fomentar asociaciones entre gobiernos, sector privado y sociedad civil, reconociendo que la colaboración es fundamental para abordar los desafíos globales y alcanzar los demás ODS de manera efectiva.

La evaluación revela que 5 de los 25 indicadores se dan por cumplidos, representando el 20 %.

La justificación del cumplimiento del ODS 17 se basa en la priorización de una visión global y multidisciplinaria en la implementación de los ODS, destacando el papel esencial de la tecnología para impulsar el progreso global.

La plataforma propuesta cumple con varios indicadores que promueven la coherencia y el avance en los sistemas de salud a través de tecnología de sensores e IoT. Se resalta la necesidad de fortalecer la cooperación internacional y el intercambio de información, evidenciado por la gestión de la pandemia de COVID-19.

5.3.3. Análisis global y retos futuros

Analizando de manera global los resultados, se observa que la plataforma está alineada con 13 de los 17 ODS, validándose 57 de los 232 indicadores, lo que representa un cumplimiento del 24,37 %, Figura 5.2.

El análisis ha identificado una serie de brechas que deben ser abordadas como retos futuros para asegurar que la plataforma de adherencia a comportamientos saludables en el hogar a través de sensores, como en el caso de AI2EPD, contribuya de manera efectiva al desarrollo sostenible.

En primer lugar, se propone diseñar un protocolo que permita evaluar la alineación de cualquier investigación con los ODS, tanto en el ámbito tecnológico como en otras áreas. Un ejemplo sería la movilidad para personas con alguna discapacidad, donde los ODS 3, 7, 9, 10, 11 y 16 serían aplicables.



FIGURA 5.2: Porcentaje de alineación de la plataforma propuesta a cada ODS. Fuente: Elaboración propia.

También se recomienda revisar la viabilidad técnica y económica de las investigaciones, con el objetivo de cuantificar los proyectos piloto y evaluar su posible implementación, particularmente en el ámbito de las plataformas inteligentes aplicadas a la salud. Asimismo, es importante fomentar la replicación de estas investigaciones en contextos con mayores necesidades en términos de salud, desarrollo social o tecnológico. Esto contribuye a la mejora de las plataformas de adherencia de comportamientos saludables en el hogar con sensores.

Finalmente, es necesario resaltar la importancia de mejorar la eficiencia energética y mitigar el cambio climático, en especial en alineación con los ODS 7 y 13, integrando por tanto energías renovables en las plataformas de salud, lo que permitiría reducir la huella de carbono, promoviendo un futuro más sostenible.

Capítulo 6

Conclusiones, resultados y perspectivas futuras

6.1. Introducción

En este capítulo se presentan las conclusiones generales de la presente tesis doctoral, así como las futuras líneas de investigación que surgen a partir del desarrollo de esta investigación. También se detallan los resultados obtenidos, que se han materializado en publicaciones en revistas internacionales del JCR, conferencias y protecciones de software.

6.2. Investigación realizada

La primera propuesta de investigación plantea que la ausencia de metodologías estandarizadas para el diseño, la implementación y la adaptación de plataformas orientadas al cálculo de la adherencia a

comportamientos saludables en el hogar dificulta su personalización y escalabilidad, lo cual limita su efectividad y adopción a gran escala.

Para abordar este problema, en la primera sección del Capítulo 3 se ha desarrollado una metodología integral para la monitorización de la adherencia a comportamientos saludables en el hogar mediante el uso de sensores. Un aspecto crucial de la metodología propuesta ha sido la identificación de las partes interesadas, de modo que sus diversos puntos de vista sean incorporados, asegurando así que todas las perspectivas relevantes se consideren en el diseño de la plataforma.

La metodología abarca diversas fases que contemplan todos los aspectos esenciales para el desarrollo de estas plataformas de salud. Comienza con la definición de indicadores clave y la selección de dispositivos y sensores adecuados, seguida por el diseño del modelo de inteligencia artificial. A continuación, se lleva a cabo la fusión de datos mediante múltiples capas de procesamiento, el cálculo de la adherencia al tratamiento y, finalmente, la visualización de los datos de forma clara y comprensible para los usuarios y profesionales de la salud.

La metodología propuesta posibilita la adaptación de las plataformas de monitorización a las necesidades específicas de distintos entornos domésticos en el contexto de salud, permitiendo así una supervisión personalizada de los indicadores clave del tratamiento en el hogar. Con esta propuesta, se ha logrado alcanzar el Objetivo Específico 1 planteado en esta tesis doctoral.

En la segunda parte del Capítulo 3, se ha propuesto la plataforma

AI2EPD, diseñada específicamente para la monitorización de comportamientos saludables en el hogar de pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, siguiendo la metodología propuesta. La plataforma desarrollada AI2EPD se ha demostrado como adecuada para el seguimiento de la diabetes en comparación con otras plataformas de adherencia disponibles en el mercado. Dicho logro se debe a su capacidad para integrar hábitos saludables en forma de actividades específicas, lo cual es necesario para el manejo efectivo de la diabetes mellitus de tipo 2. Con dicha propuesta hemos alcanzado el Objetivo Específico 2 que se marcaba en esta tesis doctoral.

En el Capítulo 4 se ha presentado una metodología para la integración y análisis de datos en la monitorización de hábitos saludables en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2, en contextos de multiocupación, utilizando tecnologías de localización UWB y protoformas lingüísticas. La monitorización de comportamientos saludables en pacientes con diabetes incluye actividades clave como comer, dormir y tomar medicamentos, las cuales están definidas en su contrato terapéutico por su personal sanitario.

Esta nueva metodología surge con el objetivo de superar las limitaciones actuales en el reconocimiento de actividades humanas en el hogar, las cuales se derivan de la complejidad asociada a la incertidumbre en la descripción de dichas actividades en entornos complejos durante la monitorización de comportamientos saludables en pacientes con diabetes. Esta complejidad es atribuible a los amplios grados de libertad en la realización de actividades, junto con la consideración de multiocupación, lo que representa un desafío

adicional que requiere de tecnología adecuada para su soporte como la tecnología UWB para el cálculo de localización en interiores.

Para abordar esta problemática, se ha diseñado un marco de trabajo que considera el entorno complejo de multiocupación, en el cual se han definido todos los elementos involucrados. Se ha especificado el papel de la capa de niebla, donde se computan tanto la localización como las actividades mediante dispositivos UWB y sensores ambientales ubicados en el hogar del paciente. Además, se ha presentado la personalización de la metodología en un escenario específico de multiocupación a través de protoformas lingüísticas. Con esta propuesta, se ha logrado cumplir el Objetivo Específico 3 establecido en esta tesis doctoral.

Finalmente, se ha propuesto un modelo de evaluación fundamentado en la teoría del análisis de decisiones, con el objetivo de medir la alineación de los sistemas y plataformas de salud con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este modelo utiliza una taxonomía específica que establece indicadores concretos para cada ODS (2021). La plataforma AI2EPD ha sido evaluada a través de este modelo, y al analizar los resultados de manera integral, se ha observado que la plataforma está alineada con 13 de los 17 ODS, validando 57 de los 232 indicadores, lo que representa un cumplimiento superior al 24 %.

El análisis realizado también ha identificado brechas que deben ser abordadas para que plataformas como AI2EPD contribuyan efectivamente al desarrollo sostenible. Así, se ha propuesto crear un protocolo que evalúe la alineación de investigaciones con los

ODS, como es el caso de la movilidad para personas con alguna discapacidad, vinculada a los ODS 3, 7, 9, 10, 11 y 16. También se ha recomendado revisar la viabilidad técnica y económica de los proyectos, y cuantificarlos y replicarlos en contextos que requieran mayor atención en salud y desarrollo. Además, se ha resaltado la importancia de mejorar la eficiencia energética e integrar energías renovables para reducir la huella de carbono, alineándose así con los ODS 7 y 13. Con estos avances de conocimiento, hemos alcanzado el último de los objetivos de esta tesis doctoral que corresponde al Objetivo Específico 4.

6.3. Direcciones futuras de la investigación

Dado que esta tesis doctoral ha demostrado su utilidad en la gestión efectiva de la diabetes a través de la adherencia a comportamientos saludables mediante la plataforma AI2EDP, que se encuentra en un estado de madurez de TRL 5 - Validación de componentes y/o disposición de los mismos en un entorno relevante, se establece como objetivo futuro aumentar su nivel de madurez y valoración.

Actualmente, la selección de dispositivos con sensores para la recopilación de datos en los domicilios de los pacientes está basada en sensores comerciales. Una limitación significativa de estos dispositivos comerciales es su capacidad limitada de personalización y adaptación a las necesidades específicas del proyecto. Aunque esta limitación no afecta de manera considerable a los sensores ambientales, sí se vuelve crítica en el caso de la pulsera o etiquetas que

portan los pacientes, así como en las balizas inalámbricas utilizadas para la localización.

Estas pulseras y balizas operan como sistemas cerrados, lo que dificulta su integración e interoperabilidad con otras tecnologías o plataformas personalizadas. Además, la dependencia del proveedor externo puede comprometer la sostenibilidad a largo plazo de la plataforma, ya que cualquier modificación o discontinuidad en los dispositivos podría afectar tanto el rendimiento como la continuidad del sistema. Asimismo, aspectos como la privacidad y la seguridad de los datos pueden no estar completamente alineados con los estándares requeridos, lo que añade riesgos adicionales en términos de protección de la información sensible.

Por lo tanto, nuestro trabajo futuro se centrará en el diseño y la fabricación de dispositivos propios, como pulseras y anclas de localización, específicamente adaptados para la plataforma AI2EDP. Además, se prevé realizar acciones concretas para la valoración de dicha plataforma. En este contexto, se plantean las siguientes líneas de trabajo:

- Diseño, fabricación y prueba de prototipos piloto y operacionales en entornos reales. Esta línea de trabajo tiene como objetivo desarrollar y evaluar prototipos funcionales de pulseras y anclas de localización. Se llevarán a cabo el diseño, la fabricación y las pruebas de estos dispositivos en condiciones reales, con el fin de verificar su viabilidad y eficacia dentro del sistema AI2EDP.

- Protección de la innovación y desarrollo. Esta línea busca establecer salvaguardias legales y derechos de propiedad intelectual sobre los avances tecnológicos y desarrollos obtenidos, asegurando que estén protegidos contra usos no autorizados o copias. De esta manera, se garantizará la exclusividad de los resultados y se fomentará un entorno propicio para la innovación.
- Acciones de valorización de los resultados. Esta línea se centrará en la identificación y ejecución de estrategias para maximizar el valor económico y comercial de la plataforma. Las actividades incluirán la comercialización, elaboración de un plan de negocio, transferencia de la tecnología, búsqueda de socios comerciales, así como la atracción de financiación o inversores para capitalizar los logros obtenidos.

De este modo, el trabajo futuro de esta tesis doctoral se orienta hacia la creación, protección y evaluación de dispositivos con el objetivo de describir comportamientos saludables en el hogar de los pacientes. Esto tiene como finalidad avanzar hacia un nivel de madurez tecnológica TRL 7 - Demostración de prototipo en entorno operacional. Además, se busca obtener la protección del conocimiento actual, que ya ha sido validado adecuadamente en un entorno relevante, al tiempo que se extiende la protección de la solución técnica en forma de software, patentes, modelos de utilidad y diseño industrial, y se desarrollan acciones para su licitación o explotación.

6.4. Resultados científicos obtenidos durante el doctorado

En esta sección se presentan las diversas publicaciones científicas realizadas por el doctorando durante su periodo de formación doctoral. Estas publicaciones están directamente relacionadas con el núcleo de la investigación de la presente tesis, así como con otros trabajos que guardan una estrecha relación con el tema abordado.

6.4.1. Publicaciones científicas relacionadas con el núcleo de la investigación

- Revistas Internacionales Indexadas.
 - **Díaz-Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, González-Lama, Jesús, and Espinilla, Macarena.** (2024). A New Horizon in Healthcare: An Innovative Methodology for Sensor-Based Adherence Platforms in Home Monitoring of Key Treatment Indicators. **IEEE Internet of Things Journal**. Vol. 11, pp. 33064-33076. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3424905>. Q1.
 - **Díaz-Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, González-Lama, Jesús, and Verdejo-Espinosa, Ángeles.** (2024). Assessing the Sustainable Alignment of a Sensor-Based Connected Health System with SDGs: An Evaluation Model and Case Study. **Smart and**

Sustainable Built Environment <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0091>. Q3.

- Congresos científicos de alto impacto considerados como relevantes.
 - **Díaz-Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, González-Lama, Jesús, and Espinilla, Macarena.** (2024) Methodology based on linguistic protoforms for activity detection in patients with type 2 diabetes mellitus. pp. 1764-1774. **57th Hawaii International Conference on System Sciences.**
- Congresos científicos.
 - **Díaz-Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, J. González-Lama, González-Lama, Jesús, y Espinilla, Macarena.** (2024) Metodología basada en protoformas lingüísticas para la detección de actividades en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2. Pp 909-916. **Jornadas SARTECO 2024.**
 - **González-Lama, Jesús, Mompeán-Torrecillas, Pedro José, Espinilla-Estévez, Macarena, Romero-López, Matilde, Díaz-Jiménez, David, Rodríguez-Rodríguez, Nicomedes, Pérez-Cruzado, David.** (2024) Empowering patients with diabetes by monitoring daily activities using a home activity monitoring system: a feasibility study **99 European General Practice Research Network.** Aceptado.

- **Díaz-Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, Gaitan-Guerrero, Juan Francisco y Espilla, Macarena.** (2024) PLATERA: A Comprehensive Web-Based System and Sensor Dataset for Activity Recognition in Households Environments. **UCAmI 2024**. Aceptado.
- **Díaz Jiménez, David, López-Ruiz, José-Luis, Montoro-Lendínez, Alicia, González-Lama, Jesús, y Espinilla, Macarena.** (2023) Advanced Home-Based Diabetes Monitoring System: Initial Real-World Experiences. Vol. 14134, p 353–364. **International Work-Conference on Artificial Neural Networks (IWANN)**.
- Protección software.
 - González Lama, Jesús, Espinilla Estevez, Macarena, Montoro Lendínez, Alicia, Rodríguez Rodríguez, Nicomedes, Guardado Roper, David, Romero López-Ruiz, Matilde, **Díaz Jiménez, David** y López Ruiz, José Luis. *FIBICO-22024 AI2EPD- ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO EMPOWER THE PATIENT WITH DIABETES*, Número de registro: 2304124036753. [Link](#).
 - **Díaz Jiménez, David, López Ruiz, José Luis y Espinilla Estevez, Macarena.** *PLAtaforma TEcnológica de Reconocimiento de Actividades de la vida diaria de personas mayores (PLATERA)*, Número de registro: 2406058179954. [Link](#).

- Espinilla Estévez, Macarena, López Ruiz, José Luis y **Díaz Jiménez, David**. *Living Dataset PLATERA: Fusión de datos de sensores ambientales, Vestibles y señales BLE*, Número de registro: 2405308134972. [Link](#).
- Espinilla Estévez, Macarena, **Díaz Jiménez, David** y López Ruiz, José Luis. *Stream Tag - Aplicación móvil para el etiquetado de datos*, Número de registro: 2311146122678.

6.4.2. Publicaciones Científicas Estrechamente Relacionadas

■ Congresos científicos.

- Montoya, Juan Carlos, López-Ruiz, José-Luis, Gaitan-Guerrero, Juan Francisco, **Díaz-Jiménez, David** y Espilla, Macarena. (2024) IoT-Powered Vital Signs Monitoring System for Optimal Hospital Assistance **UCAmI 2024**. Aceptado.
- **Díaz, David**, Medina, Javier, Espinilla, Macarena. (2022) Linguistic Summaries for Dwellings Energy Poverty Monitoring. Vol. 594, pp. 693–704. **14th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence**.
- **Díaz-Jiménez, David**, Medina-Quero y Espinilla, Macarena. (2023) Unifying Wearable Data: A Novel Architecture Integrating Fitbit Wristbands and Smartphones for Enhanced Data Availability and Linguistic Summaries. Vol. 841, pp. 139-150. **15th**

International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence.

- Polo-Rodríguez, Aurora, **Díaz-Jiménez, David**, Carvajal, Miguel Ángel, Baños, Oresti, Medina-Quero, Javier. (2023) Detection of Sets and Repetitions in Strength Exercises Using IMU-Based Wristband Wearables. Vol. 835, pp. 71–80. **15th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence.**
- Montoro-Lendínez, Alicia, López-Ruiz, José-Luis, **Díaz-Jiménez, David**, Espinilla, Macarena, Nugent, Cris. (2023) Shedding Light on the Energy Usage of Activity Recognition Systems in Homes. Vol. 841, pp. 78-89. **15th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence.**
- Montoro-Lendínez, Alicia, López-Ruiz, José-Luis, Barbero-Rodríguez, María Paz, **Díaz-Jiménez, David**, Nugent, Cris, Espinilla, Macarena. (2023) Monitoring Environments with New Generation Devices. Vol. 835, pp. 27-38. **15th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence.**
- **Díaz-Jiménez, David**, Medina-Quero, Javier, Serrano-Chica, José-María, Cruz-Martínez, José, Casas-Rosa, Juan-Carlos and Espinilla, Macarena. (2022) Generación de protoformas en una arquitectura IoT para la atención a la pobreza energética. Pp. 107-108. **XXI**

**Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy
(ESTYLF22).**

Lista de Abreviaciones

AI2EPD	Artificial Intelligence to Empower Patients with Diabetes
AABB	Axis-Aligned minimum Bounding Box
AoA	Angle of Arrival
AoD	Angle of Departure
BLE	Bluetooth Low Energy
CSI	Channel State Information
HAR	Human Activity Recognition
IA	Inteligencia Artificial
IaaS	Infrastructure as a Service
IMU	Inertial Measurement Unit
IoT	Internet of Things
JCR	Journal Citation Reports
LiDAR	Light Detection and Ranging
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SBC	Single Board Computer
TDoA	Time Difference of Arrival
TI	Tecnologías de la Información
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TLS	Transport Layer Security
UWB	Ultra Wide-Band

Bibliografía

- Aggarwal, J. K., & Ryoo, M. S. (2011). Human activity analysis: A review. *Acm Computing Surveys (Csur)*, 43(3), 1-43.
- Ahmed, A., Aziz, S., Qidwai, U., Abd-Alrazaq, A., & Sheikh, J. (2023). Performance of artificial intelligence models in estimating blood glucose level among diabetic patients using non-invasive wearable device data. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 3, 100094.
- Aikemu, B., Xue, P., Hong, H., Jia, H., Wang, C., Li, S., Huang, L., Ding, X., Zhang, H., Cai, G., et al. (2021). Artificial intelligence in decision-making for colorectal cancer treatment strategy: an observational study of implementing watson for oncology in a 250-case cohort. *Frontiers in oncology*, 10, 594182.
- Al-Qaness, M. A., Helmi, A. M., Dahou, A., & Elaziz, M. A. (2022). The applications of metaheuristics for human activity recognition and fall detection using wearable sensors: A comprehensive analysis. *Biosensors*, 12(10), 821.
- Altun, İ., Erkek, Y., Demirhan, Y., Peker, A., & Çetinarslan, B. (2014). Hygiene behavior in persons with type 2 diabetes. *American journal of infection control*, 42(7), 817-818.

- Atlas, I. D. (2014). Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035. *Diabetes Res Clin Pract*, 103(2), 137-49.
- Bai, L., Ciravegna, F., Bond, R., & Mulvenna, M. (2020). A low cost indoor positioning system using bluetooth low energy. *Ieee Access*, 8, 136858-136871.
- Beddiar, D. R., Nini, B., Sabokrou, M., & Hadid, A. (2020). Vision-based human activity recognition: a survey. *Multimedia Tools and Applications*, 79(41), 30509-30555.
- Benmansour, A., Bouchachia, A., & Feham, M. (2015). Multioccupant activity recognition in pervasive smart home environments. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 48(3), 1-36.
- Bergeron, F., Bouchard, K., Gaboury, S., & Giroux, S. (2021). RFID indoor localization using statistical features. *Cybernetics and systems*, 52(8), 625-641.
- Bettini, C., Civitarese, G., Giancane, D., & Presotto, R. (2020). Procaviar: Hybrid data-driven and probabilistic knowledge-based activity recognition. *IEEE Access*, 8, 146876-146886.
- Bettini, C., Civitarese, G., & Presotto, R. (2020). CAVIAR: Context-driven Active and Incremental Activity Recognition. *Knowledge-Based Systems*, 196, 105816.
- Bharti, R., Khamparia, A., Shabaz, M., Dhiman, G., Pande, S., & Singh, P. (2021). Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning. *Computational intelligence and neuroscience*, 2021(1), 8387680.

- Bhola, G., & Vishwakarma, D. K. (2024). A review of vision-based indoor HAR: state-of-the-art, challenges, and future prospects. *Multimedia Tools and Applications*, 83(1), 1965-2005.
- Borja, L. B., Lopez, J. A., Calvo, M. S., Guillo, A. F., & Sebban, M. (2022). Architecture for Automatic Recognition of Group Activities Using Local Motions and Context. *IEEE Access*, 10, 79874-79889.
- Chen, L., Hoey, J., Nugent, C., Cook, D., & Yu, Z. (2012). Sensor-based activity recognition. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(6), 790-808.
- Chen, L., & Nugent, C. D. (2019). Sensor-based activity recognition review. *Human Activity Recognition and Behaviour Analysis: For Cyber-Physical Systems in Smart Environments*, 23-47.
- Chinimilli, P., Redkar, S., & Zhang, W. (2017). Human activity recognition using inertial measurement units and smart shoes. *2017 American Control Conference (ACC)*, 1462-1467.
- Civitarese, G., Bettini, C., Sztyley, T., Riboni, D., & Stuckenschmidt, H. (2019). newnectar: Collaborative active learning for knowledge-based probabilistic activity recognition. *Pervasive and Mobile Computing*, 56, 88-105.
- Clemen, R. T. (1996). Making hard decisions: An introduction to decision analysis 2nd ed. *Duxbury Press*.
- Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico y Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). SDG Help Desk [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://sdghelpdesk.unescap.org>

- Comisión Europea. (2020). Grupo de Expertos Técnicos de la UE sobre Finanzas Sostenibles en Taxonomía: Informe final [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
- De Donno, M., Tange, K., & Dragoni, N. (2019). Foundations and evolution of modern computing paradigms: Cloud, iot, edge, and fog. *IEEE access*, 7, 150936-150948.
- Demrozi, F., Pravadelli, G., Bihorac, A., & Rashidi, P. (2020). Human activity recognition using inertial, physiological and environmental sensors: A comprehensive survey. *IEEE access*, 8, 210816-210836.
- Desnanjaya, I., & Arsana, I. N. A. (2021). Home security monitoring system with IoT-based Raspberry Pi. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*, 22(3), 1295.
- Díaz Jiménez, D., López Ruiz, J. L., González Lama, J., & Espinilla, M. (2024). Methodology based on linguistic protoforms for activity detection in patients with type 2 diabetes mellitus.
- Díaz Jiménez, D., López Ruiz, J. L., González Lama, J., & Verdejo Espinosa, Á. (2024). Assessing the sustainable alignment of a sensor-based connected health system with SDGs: an evaluation model and case study. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- Díaz-Jiménez, D., López, J. L., González-Lama, J., & Espinilla, M. (2024). A New Horizon in Healthcare: An Innovative Methodology for Sensor-Based Adherence Platforms in Home

- Monitoring of Key Treatment Indicators. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(20), 33064-33076.
- Eeckhaut, M. V. D., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Nyssen, J., Moeyersons, J., Beek, L. v., & Vandekerckhove, L. (2007). Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 754-769.
- ElSayed, N. A., Aleppo, G., Aroda, V. R., Bannuru, R. R., Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Hilliard, M. E., Isaacs, D., Johnson, E. L., Kahan, S., Khunti, K., Leon, J., Lyons, S. K., Perry, M. L., Prahalad, P., Pratley, R. E., Seley, J. J., Stanton, R. C., ... Gabbay, o. b. o. t. A. D. A., Robert A. (2022). 5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes—2023. *Diabetes Care*, 46, S68-S96.
- Escamilla-Ambrosio, P., Rodríguez-Mota, A., Aguirre-Anaya, E., Acosta-Bermejo, R., & Salinas-Rosales, M. (2018). Distributing computing in the internet of things: cloud, fog and edge computing overview. *NEO 2016: Results of the Numerical and Evolutionary Optimization Workshop NEO 2016 and the NEO Cities 2016 Workshop held on September 20-24, 2016 in Tlalnepantla, Mexico*, 87-115.
- Espinosa, Á. V., Ruiz, J. L. L., Mata, F. M., & Estevez, M. E. (2021). Application of IoT in Healthcare: Keys to Implementation of the Sustainable Development Goals. *Sensors*, 21(7), 2330.
- Esslinger, D., Oberdorfer, M., Zeitz, M., & Tarín, C. (2020). Improving ultrasound-based indoor localization systems for

- quality assurance in manual assembly. *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 563-570.
- European Environmental Bureau. (2022). SDG Toolkit; to engage European NGOs at National and European level on the Sustainable Development Goals [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://sdgtoolkit.org>
- Feng, D., Wang, C., He, C., Zhuang, Y., & Xia, X.-G. (2020). Kalman-filter-based integration of IMU and UWB for high-accuracy indoor positioning and navigation. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(4), 3133-3146.
- Franco-Trigo, L., Franco-Trigo, L., Fernandez-Llimos, F., Martínez-Martínez, F., Benrimoj, S., Sabater-Hernández, D., & Sabater-Hernández, D. (2020). Stakeholder analysis in health innovation planning processes: A systematic scoping review. *Health policy*.
- Giannakopoulou, K.-M., Roussaki, I., & Demestichas, K. (2022). Internet of Things Technologies and Machine Learning Methods for Parkinson's Disease Diagnosis, Monitoring and Management: A Systematic Review. *Sensors*, 22(5). <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/5/1799>
- Global Impact Investing Network. (2019). IRIS + System [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://iris.thegiin.org/about/>
- Global Taskforce of Local and Regional Governments, United Nations Human Settlements and Development Programme. (2020). Local 2030 Localizing the SDGs [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://www.local2030.org/discover-tools>

- Gómez-Ramos, R., Duque-Domingo, J., Zalama, E., & Gómez-García-Bermejo, J. (2023). An unsupervised method to recognise human activity at home using non-intrusive sensors. *Electronics*, 12(23), 4772.
- Hayward, S., van Lopik, K., Hinde, C., & West, A. A. (2022). A survey of indoor location technologies, techniques and applications in industry. *Internet of Things*, 20, 100608.
- Huang, J.-D., Wang, J., Ramsey, E., Leavey, G., Chico, T. J., & Condell, J. (2022). Applying artificial intelligence to wearable sensor data to diagnose and predict cardiovascular disease: a review. *Sensors*, 22(20), 8002.
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
- John, F., Vahidnia, R., & Rahmati, A. (2020). Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey. *IEEE Access*, 8, 69200-69211.
- Kashani, M. H., Madanipour, M., Nikravan, M., Asghari, P., & Mahdipour, E. (2021). A systematic review of IoT in healthcare: Applications, techniques, and trends. *Journal of Network and Computer Applications*, 192, 103164.
- Kesavadev, J., Saboo, B., Krishna, M. B., & Krishnan, G. (2020). Evolution of insulin delivery devices: from syringes, pens, and pumps to DIY artificial pancreas. *Diabetes Therapy*, 11(6), 1251-1269.

- Khandelwal, D., Dutta, D., Chittawar, S., & Kalra, S. (2017). Sleep disorders in type 2 diabetes. *Indian J. Endocrinol. Metab.*, 21(5), 758-761.
- Khoa, T. A., Nhu, L. M. B., Son, H. H., Trong, N. M., Phuc, C. H., Phuong, N. T. H., Van Dung, N., Nam, N. H., Chau, D. S. T., & Duc, D. N. M. (2020). Designing efficient smart home management with IoT smart lighting: a case study. *Wireless communications and mobile computing*, 2020(1), 8896637.
- Kim, E., Helal, S., & Cook, D. (2009). Human activity recognition and pattern discovery. *IEEE pervasive computing*, 9(1), 48-53.
- Kopetz, H., & Steiner, W. (2022). Internet of Things. En *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications* (pp. 325-341). Springer International Publishing.
- Koutris, A., Siozos, T., Kopsinis, Y., Pikrakis, A., Merk, T., Mahlig, M., Papaharalabos, S., & Karlsson, P. (2022). Deep learning-based indoor localization using multi-view BLE signal. *Sensors*, 22(7), 2759.
- Kraus, S., Schiavone, F., Pluzhnikova, A., & Invernizzi, A. C. (2021). Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research. *Journal of Business Research*, 123, 557-567.
- KTH Royal Institute of Technology. (2018). Toolbox Learning for Sustainable Development [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://www.kth.se/en/om/miljo-hallbar-utveckling/utbildning-miljo-hallbar-utveckling/verktygslada/verktygsladan-larande-for-hallbar-utveckling-1.507316>

- Laplante, N. L., Laplante, P. A., & Voas, J. M. (2016). Stakeholder identification and use case representation for Internet-of-Things applications in healthcare. *IEEE systems journal*, 12(2), 1589-1597.
- Laplante, P. A., Kassab, M., Laplante, N. L., & Voas, J. M. (2017). Building caring healthcare systems in the Internet of Things. *IEEE systems journal*, 12(3), 3030-3037.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- Lee, G., Seo, S., & Jeon, W. (2021). Indoor localization by Kalman filter based combining of UWB-positioning and PDR. *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 1-6.
- Li, C., Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2024). A review of IoT applications in healthcare. *Neurocomputing*, 565, 127017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231223011402>
- Li, Q., Gravina, R., Li, Y., Alsamhi, S. H., Sun, F., & Fortino, G. (2020). Multi-user activity recognition: Challenges and opportunities. *Information Fusion*, 63, 121-135.
- Lin, R., Brown, F., James, S., Jones, J., & Ekinici, E. (2021). Continuous glucose monitoring: a review of the evidence in type 1 and 2 diabetes mellitus. *Diabetic Medicine*, 38(5), e14528.
- Liu, R., Ramli, A. A., Zhang, H., Henricson, E., & Liu, X. (2021). An overview of human activity recognition using wearable

- sensors: Healthcare and artificial intelligence. *International Conference on Internet of Things*, 1-14.
- Lopez, J. A., Calvo, M. S., Guillo, A. F., & Rodriguez, J. G. (2015). A Novel Prediction Method for Early Recognition of Global Human Behaviour in Image Sequences. *Neural Processing Letters*, 43(2), 363-387.
- López, J. L., Espinilla, M., & Verdejo, Á. (2023). Evaluation of the Impact of the Sustainable Development Goals on an Activity Recognition Platform for Healthcare Systems. *Sensors*, 23(7). <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3563>
- López Ruiz, J. L., Verdejo Espinosa, Á., Montoro Lendínez, A., & Espinilla Estévez, M. (2023). OBLEA: A New Methodology to Optimise Bluetooth Low Energy Anchors in Multi-occupancy Location Systems. *JUCS: Journal of Universal Computer Science*, 29(6).
- Manaf, A., & Singh, S. (2021). Computer vision-based survey on human activity recognition system, challenges and applications. *2021 3rd International Conference on Signal Processing and Communication (ICPSC)*, 110-114.
- Mannay, K., Ureña, J., Hernández, Á., Villadangos, J. M., Machhout, M., & Aguilí, T. (2021). Evaluation of multi-sensor fusion methods for ultrasonic indoor positioning. *Applied Sciences*, 11(15), 6805.
- Martínez, J. M. M., García, J. M. M., Lendínez, A. C., López, L. G., Gómez, A. P., Lopez, P. J. L., & Estévez, M. E. (2021). Sistema inteligente de reconocimiento de actividades en el entorno de

envejecimiento activo y de seguridad (activa): evaluación de herramienta informática desde el ámbito social. *Conocimientos, investigación y prácticas en el campo de la salud: actualización de competencias*, 115-120.

Medina Quero, J., Fernández Olmo, M. R., Peláez Aguilera, M. D., & Espinilla Estévez, M. (2017). Real-Time Monitoring in Home-Based Cardiac Rehabilitation Using Wrist-Worn Heart Rate Devices. *Sensors*, 17(12). <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/12/2892>

Montagut-Martínez, P., García-Arenas, J. J., Romero-López, M., Rodríguez-Rodríguez, N., Pérez-Cruzado, D., & González-Lama, J. (2022). Feasibility of an activity control system in patients with diabetes: a study protocol of a randomised controlled trial. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 2683-2691.

Montoro Lendínez, A., López Ruiz, J. L., Nugent, C., & Espinilla Estévez, M. (2023). ACTIVA: Innovation in Quality of Care for Nursing Homes Through Activity Recognition. *IEEE Access*, 11, 123335-123349.

Motroni, A., Buffi, A., & Nepa, P. (2021). A survey on indoor vehicle localization through RFID technology. *IEEE Access*, 9, 17921-17942.

Mouha, R. A., et al. (2021). Internet of things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9(02), 77.

Nizetic, S., Soli, P., González-de, D. L.-I., Patrono, L., et al. (2020). Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges

- towards a smart and sustainable future. *Journal of cleaner production*, 274, 1-32.
- Nunes Rodrigues, A. C., Santos Pereira, A., Sousa Mendes, R. M., Araújo, A. G., Santos Couceiro, M., & Figueiredo, A. J. (2020). Using artificial intelligence for pattern recognition in a sports context. *Sensors*, 20(11), 3040.
- ONU. (2020). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://www.unfpa.org/resources/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible> [Accedido el 12 de septiembre de 2024].
- Pau, G., Arena, F., Gebremariam, Y. E., & You, I. (2021). Bluetooth 5.1: An analysis of direction finding capability for high-precision location services. *Sensors*, 21(11), 3589.
- Peláez-Aguilera, M. D., Espinilla, M., Fernandez Olmo, M. R., & Medina, J. (2019). Fuzzy linguistic protoforms to summarize heart rate streams of patients with ischemic heart disease. *Complexity*, 2019(1), 2694126.
- Poongodi, T., Krishnamurthi, R., Indrakumari, R., Suresh, P., & Balusamy, B. (2020). Wearable devices and IoT. *A handbook of Internet of Things in biomedical and cyber physical system*, 245-273.
- Portier, C., Gomme, J., & Whelan, N. (2015). SDG Compass [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://sdgcompass.org/>

- Postolache, O., Hemanth, D. J., Alexandre, R., Gupta, D., Geman, O., & Khanna, A. (2020). Remote monitoring of physical rehabilitation of stroke patients using IoT and virtual reality. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39(2), 562-573.
- Poulose, A., & Han, D. S. (2020). UWB indoor localization using deep learning LSTM networks. *Applied Sciences*, 10(18), 6290.
- Qin, Z., Zhang, Y., Meng, S., Qin, Z., & Choo, K.-K. R. (2020). Imaging and fusing time series for wearable sensor-based human activity recognition. *Information Fusion*, 53, 80-87.
- Rahmani, A. M., Azhir, E., Ali, S., Mohammadi, M., Ahmed, O. H., Ghafour, M. Y., Ahmed, S. H., & Hosseinzadeh, M. (2021). Artificial intelligence approaches and mechanisms for big data analytics: a systematic study. *PeerJ Computer Science*, 7, e488.
- Rawashdeh, M., Al Zamil, M. G., Samarah, S., Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2020). A knowledge-driven approach for activity recognition in smart homes based on activity profiling. *Future Generation Computer Systems*, 107, 924-941.
- Roy, P., & Chowdhury, C. (2022). A survey on ubiquitous WiFi-based indoor localization system for smartphone users from implementation perspectives. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, 4(3), 298-318.
- Sachs, J., Schmidt Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814.

- Satale, D., & Kulkarni, M. (2003). Lidar in mapping. *Map India Conference GIS development. net*.
- Schrader, L., Vargas Toro, A., Konietzny, S., Rüping, S., Schäpers, B., Steinböck, M., Krewer, C., Müller, F., Güttler, J., & Bock, T. (2020). Advanced sensing and human activity recognition in early intervention and rehabilitation of elderly people. *Journal of Population Ageing*, 13, 139-165.
- SDSN Northern Europe. (2018). The SDG Impact Assessment Tool [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://www.unsdn-ne.org/our-actions/initiatives/sdg-impact-tool/>
- Singh, B., Sharma, S., & Jain, A. (2023). Internet of Things (IoT) in Health Care—A Review. En D. K. Yadav & A. Gulati (Eds.), *Artificial Intelligence and Machine Learning in Healthcare* (pp. 65-78). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6472-7_5
- Strimbu, K., & Tavel, J. A. (2010). What are biomarkers? *Current Opinion in HIV and AIDS*, 5(6), 463-466.
- Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B. B., Stein, C., Basit, A., Chan, J. C., Mbanya, J. C., et al. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice*, 183, 109119.
- Sun, M., Wang, Y., Joseph, W., & Plets, D. (2022). Indoor localization using mind evolutionary algorithm-based geomagnetic

- positioning and smartphone IMU sensors. *IEEE Sensors Journal*, 22(7), 7130-7141.
- Sung, S., Kim, H., & Jung, J.-I. (2023). Accurate indoor positioning for UWB-based personal devices using deep learning. *IEEE Access*, 11, 20095-20113.
- TÜV SÜD. (2022). Test de Autoevaluación ODS TÜV SÜD [[Online; acceso 29 septiembre 2024]]. <https://www.tuvsud.com/es-es/noticias/2022/febrero/herramienta-gratuita-conoce-contribucion-ods>
- Unesco. (2023). Herramienta de evaluación SET4HEI [[Online; acceso 29 septiembre 2024]]. <https://www.iesalc.unesco.org/desarrollo-sostenible/herramienta-de-evaluacion-set4hei/>
- United Nations Development Programme. (2022). Sustainable Development Goals [[Online; acceso 27 septiembre 2024]]. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- Verdejo, Á., Espinilla, M., López, J. L., & Melguizo, F. J. (2022). Assessment of sustainable development objectives in Smart Labs: technology and sustainability at the service of society. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103559.
- Vitali, R. V., McGinnis, R. S., & Perkins, N. C. (2020). Robust error-state Kalman filter for estimating IMU orientation. *IEEE Sensors Journal*, 21(3), 3561-3569.
- What is artificial intelligence (AI)? (2024). IBM. <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- WHO, W. H. O. (2023). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>

- Winston, P. H. (1984). *Artificial intelligence*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Wu, Q., Li, X., Wang, K., & Bilal, H. (2023). Regional feature fusion for on-road detection of objects using camera and 3D-LiDAR in high-speed autonomous vehicles. *Soft Computing*, 27(23), 18195-18213.
- Xue, J., Zhang, J., Gao, Z., & Xiao, W. (2022). Enhanced wifi csi fingerprints for device-free localization with deep learning representations. *IEEE Sensors Journal*, 23(3), 2750-2759.
- Yang, T., Yu, X., Ma, N., Wu, R., & Li, H. (2022). An autonomous channel deep learning framework for blood glucose prediction. *Applied Soft Computing*, 120, 108636.
- Yang, X., Wang, J., Song, D., Feng, B., & Ye, H. (2021). A novel NLOS error compensation method based IMU for UWB indoor positioning system. *IEEE Sensors Journal*, 21(9), 11203-11212.
- Ye, H., & Peng, J. (2022). Robot indoor positioning and navigation based on improved wifi location fingerprint positioning algorithm. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022(1), 8274455.
- Zadeh, L. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L. (2006). Generalized Theory of Uncertainty (GTU)-Principal Concepts and Ideas. *Computational Statistics and Data Analysis*, 51(1), 15-46.

- Zafari, F., Gkelias, A., & Leung, K. K. (2019). A survey of indoor localization systems and technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3), 2568-2599.
- Zhang, M., Flores, K. B., & Tran, H. T. (2021). Deep learning and regression approaches to forecasting blood glucose levels for type 1 diabetes. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102923.
- Zhu, T., Li, K., Herrero, P., & Georgiou, P. (2022). Personalized blood glucose prediction for type 1 diabetes using evidential deep learning and meta-learning. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(1), 193-204.
- Zou, Q., Sun, Q., Chen, L., Nie, B., & Li, Q. (2021). A comparative analysis of LiDAR SLAM-based indoor navigation for autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6907-6921.